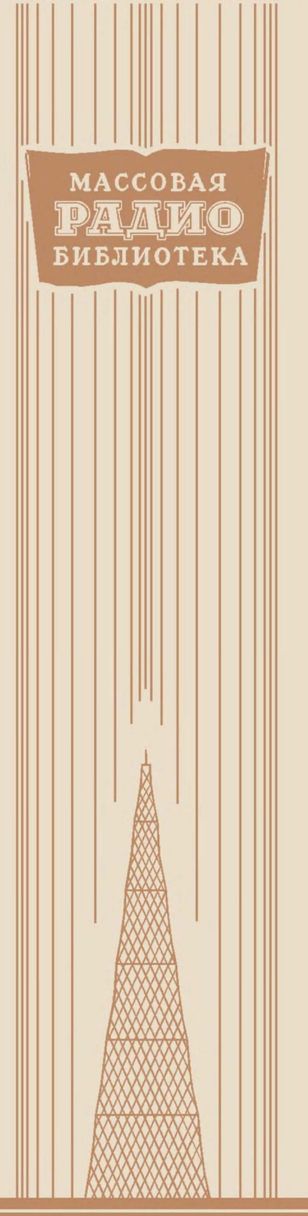


А. А. КУЛИКОВСКИЙ

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РАДИОПРИЕМА



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 207

А. А. КУЛИКОВСКИЙ

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РАДИОПРИЕМА

2-е ИЗДАНИЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

Книга содержит обзор новинок техники радиоприема, которые могут быть использованы радиолюбителями в самодельных конструкциях приемников амплитудной и частотной модуляции, телевизоров, усилителей низкой частоты и устройств воспроизведения и записи звука.

Книга рассчитана на квалифицированных радиолюбителей-конструкторов.

Редактор *В. Я. Сутягин* Технич. редактор *А. М. Фридкин*

Сдано в набор 2/III 1954 г. Подписано к печати 25/IX 1954 г.
Бумага 84×108 1/32 9,02 п. л. Уч.-изд. л. 10
Т-06055 Тираж 50 000 экз. Цена 4 руб. Заказ 1153

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое радиоприемное устройство, созданное А. С. Поповым более полувека назад, содержало прообразы всех основных частей, применяемых в современных радиоприемниках. Оно имело открытую антенну, детектор, усилительное устройство, оконечный аппарат, в нем использовалось явление резонанса. Таким образом, А. С. Попов является автором принципов, на основе которых происходило последующее развитие техники радиоприема.

Быстрое развитие техники радиоприема в нашей стране началось после Великой Октябрьской социалистической революции. Мощная радиопромышленность, созданная за годы предвоенных пятилеток, позволила организовать широкое производство радиоприемников.

Разработка конструкций новых приемников различного назначения и организация их массового выпуска вызвали необходимость проведения широких исследований в области радиоприема. Советские ученые проделали большую работу по созданию новых методов радиоприема, а также по глубокому научному исследованию возможностей и путей усовершенствования приемников. Эти работы позволили советским конструкторам создать множество образцов радиоприемных устройств самого различного назначения.

Важную роль в этом сыграли также советские радиолюбители. Интерес, проявляемый ими к работе в области радиоприема, не является случайным. Он объясняется тем, что приемники представляют чрезвычайно распространенные устройства. Вместе с тем приемники являются относительно недорогими устройствами, эксперименты с которыми вполне возможны не только в радиоклубах, но и в домашних условиях.

Рост благосостояния и культуры трудящихся в нашей стране привел к быстрому увеличению числа людей, отдаю-

щих свой досуг радиолюбительству, и в частности экспериментальной и конструкторской деятельности в области радиоприема. Работы ведущих советских радиолюбителей представляют очень большой интерес. В области радиовещательного приема они зачастую опережают аналогичные промышленные разработки. Нет сомнения, что и в дальнейшем, руководствуясь указаниями XIX съезда Коммунистической партии Советского Союза о развитии науки и техники в нашей стране, советские радиолюбители вместе с радиоспециалистами будут добиваться новых успехов в деле развития техники радиоприема.

Первое издание настоящей книги вышло под тем же названием в 1950 г. Многочисленные письма читателей, полученные с тех пор издательством и автором, показали, что обзор новинок техники радиоприема, которые могут быть использованы радиолюбителями-конструкторами в их практической деятельности, вызвал большой интерес и принес определенную пользу. В соответствии с многочисленными пожеланиями читателей было решено выпустить настоящее, второе издание. При подготовке его к печати содержание книги было пересмотрено и отдельные, не оправдавшие себя, схемы были исключены. Вместе с тем было добавлено большое количество материалов, освещающих последние работы ведущих советских радиолюбителей-конструкторов.

Из большого числа новых схем для приема на сверхвысоких частотах здесь приведены лишь такие, которые могут быть осуществлены радиолюбителями и которые имеет смысл применять в любительских диапазонах. Поскольку в настоящее время любители еще не работают в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн, в книгу не включены описания элементов приемных устройств, характерных для этих диапазонов.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СХЕМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ

Рассмотрим прежде всего некоторые новые принципы построения скелетных схем радиоприемников.

НЕНАСТРАИВАЕМЫЕ ПРЕСЕЛЕКТОРЫ

Современные приемники строятся чаще всего по супергетеродинным схемам. Это объясняется известными достоинствами супергетеродинного принципа приема — возможностью получения большой чувствительности и избирательности относительно соседних каналов, а также незначительными изменениями всех характеристик приемника при настройке его на различные частоты диапазона.

Но супергетеродинный метод приема обладает и рядом недостатков. Наиболее существенный из них заключается в том, что при данной настройке гетеродина приемника в промежуточную частоту преобразуется не только частота полезного принимаемого сигнала, но и так называемая *зеркальная частота*, которая отличается от частоты полезного принимаемого сигнала на две промежуточные частоты. Если на этой зеркальной частоте будет работать какая-либо радиостанция (или какой-нибудь иной источник помех), то она создаст на выходе преобразователя помеху на промежуточной частоте; последующие фильтры промежуточной частоты отделить эту помеху не смогут, и она будет мешать приему выбранной станции.

Для устранения зеркального приема между антенной и преобразователем частоты приходится ставить один или несколько контуров, которые настраиваются на частоту принимаемого сигнала и не пропускают к преобразователю колебания зеркальной частоты. Такими контурами являются контуры входной цепи и усилителя высокой частоты; они образуют так называемый *преселектор*. Контуры преселек-

тора должны обеспечивать избирательность главным образом относительно зеркального канала, тогда как избирательность относительно соседних каналов обеспечивается в основном фильтрами промежуточной частоты.

Необходимость иметь преселектор, настраиваемый на частоту принимаемого сигнала, заставляет осуществлять сложное сопряжение одноручечной настройки контура преселектора с настройкой контура гетеродина (который настраивается на частоту, отличающуюся от частоты принимаемого сигнала на промежуточную частоту).

Используемый в настоящее время метод обеспечивает точное сопряжение настроек лишь на трех частотах каждого поддиапазона. На других частотах настройки контуров преселектора и гетеродина оказываются сдвинутыми одна относительно другой на величину, отличающуюся от промежуточной частоты. Тракт промежуточной частоты приемника обладает узкой полосой пропускания и большим усилением. Поэтому при неправильном сопряжении наибольшая громкость приема получается тогда, когда оператор настраивает правильно контур гетеродина, т. е. настраивает его так, что на выходе преобразователя образуется именно такая промежуточная частота, которую пропускают фильтры приемника. Однако контуры преселектора при этом оказываются расстроенными относительно принимаемого сигнала, что приводит к снижению чувствительности приемника.

Этот недостаток заметен особенно сильно при приеме в диапазоне длинных волн, т. е. при относительно низких частотах. На этих частотах резонансная кривая контуров преселектора оказывается очень острой, и даже небольшая неточность сопряжения контуров приводит к резкому снижению чувствительности приемника. При приеме более высоких частот резонансная кривая контуров преселектора оказывается более тупой, так что неточности сопряжения сказываются на работе приемника слабее. Наконец, при приеме еще более высоких частот резонансная кривая контуров преселектора оказывается настолько тупой, что неточность сопряжения уже не имеет значения, но зато и ослабление зеркального сигнала преселектором оказывается недостаточным для удовлетворительного действия приемника.

Очевидно, ослабление зеркального сигнала контурами преселектора будет тем лучше, чем дальше отстоит зеркальная частота от частоты принимаемой станции. Разность этих частот равняется удвоенной промежуточной частоте. Следо-

вательно, повышая промежуточную частоту, можно все дальше отодвигать зеркальную частоту от основной принимаемой частоты. Это облегчает борьбу с зеркальным приемом и позволяет пользоваться более простыми схемами преселекторов.

Раньше приемники работали главным образом в диапазонах длинных и средних волн. В этих диапазонах вполне удовлетворительное подавление зеркального канала обеспечивалось при использовании промежуточной частоты в 115 *кгц*. Позже, когда в приемники были введены коротковолновые диапазоны, промежуточная частота была увеличена до 465 *кгц*. В настоящее время в связи с освоением диапазона ультракоротких волн промежуточные частоты приемников часто выбираются порядка 1,6, 4 и даже 10 *мггц*.

Облегчая борьбу с зеркальным приемом, повышение промежуточной частоты вместе с тем создает дополнительные трудности. При прочих равных условиях оно вызывает расширение полосы пропускания фильтров промежуточной частоты.

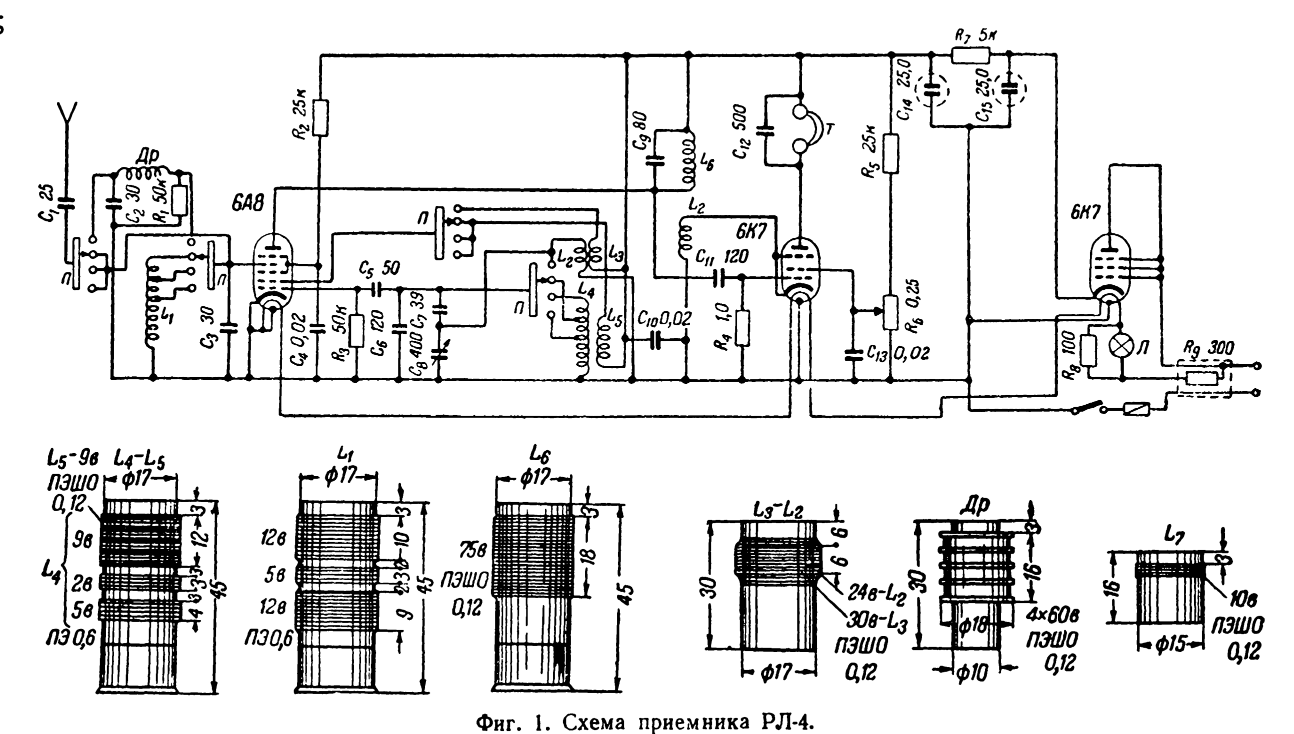
В большинстве случаев это является нежелательным, так как приводит к ухудшению избирательности относительно соседних каналов приема и к усилению действия помех. Кроме того, повышение промежуточной частоты снижает устойчивое усиление каскадов промежуточной частоты. Серьезной неприятностью при повышении промежуточной частоты является также увеличение неточности сопряжения, что ухудшает прием в диапазоне относительно низких частот, где полоса пропускания контуров преселектора оказывается узкой.

Удачное разрешение этих противоречий было осуществлено радиолюбителем Б. Хитровым в приемнике РЛ-4 (фиг. 1)[1]. Этот простой по конструкции радиоприемник представляет собой двухламповый супергетеродин. Первая лампа (6А8) работает в каскаде преобразователя частоты, а вторая (6К7) — в каскаде регенеративного сеточного детектора. Третья лампа (6К7) используется в качестве выпрямительной и в схему, собственно приемника, не входит.

Особенностью приемника РЛ-4 является высокая промежуточная частота, равная 1,9 *мггц*. Это позволило значительно упростить схему приемника. Прежде всего оказалось возможным применить в качестве преселектора длинных и

---

[1] „Радио“, 1947, № 6.



Фиг. 1. Схема приемника РЛ-4.

Катушки L_1 и L_4 наматываются принудительным шагом, верхние концы их заземляются. Катушка L_5 наматывается между витками первой секции катушки L_4, а катушка L_2 поверх катушки L_3. Катушка L_7 вставляется в катушку L_6.

средних волн ненастраивающийся фильтр нижних частот. Дело в том, что диапазоны длинных и средних волн охватывают частоты $0,15 \div 1,6$ *мггц*. Удвоенная промежуточная частота составляет $2 \cdot 1,9 = 3,8$ *мггц*. Соответственно зеркальные частоты при работе приемника в диапазонах длинных и средних волн лежат в пределах от $0,15 + 2 \cdot 1,9 = 3,95$ *мггц* до $1,6 + 2 \cdot 1,9 = 5,4$ *мггц*.

Как видим, зеркальные частоты лежат вне диапазона длинных и средних волн. Если поставить на вход приемника ненастраивающийся фильтр, который будет пропускать все частоты до 1,6 *мггц* и задерживать все более высокие частоты, то задача подавления зеркальных каналов будет решена.

Таким фильтром в рассматриваемом приемнике является цепь C_1C_2*Др* R_1C_3. Конденсатор C_1 служит для связи приемника с антенной, а конденсатор C_2, дроссель *Др* и конденсатор C_3 образуют П-образный фильтр нижних частот. Особую роль в этой цепи играет сопротивление R_1. Оно служит, во-первых, сопротивлением утечки сетки лампы 6А8. Кроме того, сопротивление R_1 является для фильтра согласованной нагрузкой, необходимой для его правильной работы.

На коротких волнах задача осуществления преселекции решается несколько иначе. Приемник имеет лишь растянутые коротковолновые диапазоны. В этих диапазонах преселектором служит контур, образуемый секционированной катушкой L_1 и конденсатором C_3. Путем подбора числа витков катушки L_1 в каждом растянутом диапазоне контур настраивается на среднюю частоту диапазона. Полоса пропускания контура настолько широка, что все частоты узкого растянутого диапазона пропускаются им с небольшим ослаблением. В то же время зеркальные частоты таким контуром ослабляются вполне достаточно.

Таким образом, вход приемника делается ненастраивающимся, и настройка приемника производится лишь конденсатором переменной емкости C_8 гетеродина. Это очень упрощает всю конструкцию и освобождает от необходимости осуществлять сопряжение настроек контуров.

Высокая промежуточная частота позволяет ввести еще одно упрощение схемы, а именно объединить диапазоны длинных и средних волн.

Действительно, частота гетеродина равняется принимаемой частоте плюс промежуточная частота. Для того чтобы перекрыть диапазон частот $0,15 \div 1,6$ *мггц*, гетеродин должен генерировать частоты от $0,15 + 1,9 = 2,05$ *мггц* до $1,6 + 1,9 = 3,4$ *мггц*. Следовательно, частота гетеродина

должна изменяться лишь в $\frac{3,4}{2,05} = 1,7$ раза. При этом ширина объединенного диапазона приблизительно на 20% превышает ширину обычного диапазона средних волн, что приводит к некоторому усложнению настройки, так как для перестройки со станции на станцию конденсатор переменной емкости приходится поворачивать на несколько меньший угол, чем в обычных схемах. Однако это усложнение настройки очень невелико и вполне может быть ликвидировано применением механизма настройки с бо́льшим замедлением.

Ухудшение избирательности относительно соседних каналов и ослабление усиления, вызываемые повышением промежуточной частоты, в рассматриваемой схеме компенсируются применением сеточного регенеративного детектора. Регулируя напряжение на экранной сетке детекторной лампы 6К7 потенциометром R_6, можно подобрать такую величину обратной связи, при которой усиление и избирательность каскада обеспечивают хороший прием. Работа регенератора на постоянной промежуточной частоте делает его режим независящим от настройки приемника.

Интересно обратить внимание на то обстоятельство, что в этой схеме осуществляется своеобразное регулирование полосы пропускания. При приеме слабых сигналов для получения большого усиления приходится использовать сильную обратную связь При этом полоса пропускания регенератора оказывается узкой, что желательно при приеме слабых сигналов. Если же принимаются мощные сигналы, то обратную связь устанавливают слабой, так как большого усиления при этом не требуется. Такое ослабление обратной связи расширяет полосу пропускания приемника, обеспечивая более естественное звучание.

Упрощение органов настройки благодаря использованию повышенной промежуточной частоты может найти применение и в сложных высококачественных приемниках. Мы уже выяснили, что при таком упрощении преселектора вполне обеспечивается необходимая избирательность по зеркальному каналу. Остановимся на том, в какой мере это упрощение может повлиять на другие характеристики приемника.

Помимо обеспечения зеркальной избирательности, входной контур и каскады усиления высокой частоты выполняют в приемнике еще две функции: увеличивают отношение силы принимаемого сигнала к силе шума, создаваемого лампами

приемника, и создают избирательность, необходимую для устранения так называемых дополнительных каналов приема и перекрестной модуляции.

Основной «шумящей» лампой в приемнике является преобразовательная лампа. Чем сильнее сигнал, подаваемый на управляющую сетку этой лампы, тем более выгодным получается отношение сигнала к шуму на выходе преобразователя. Последующие каскады приемника в равной мере усиливают как сигнал, так и шум, почти не изменяя указанного отношения. Поэтому для улучшения отношения силы сигнала к силе шума на выходе приемника необходимо по возможности больше усиливать сигнал до преобразователя, т. е. во входных контурах и в усилителе высокой частоты.

Преселектор того типа, который использован в приемнике РЛ-4, дает заметно меньшее напряжение сигнала на сетке преобразовательной лампы по сравнению с обычными, более сложными типами преселекторов. Это ухудшает отношение силы сигнала к силе шумов лампы. Однако для радиовещательных приемников такое ухудшение имеет лишь теоретический интерес и практически почти не влияет на качество приема.

Дело в том, что шум на выходе таких приемников лишь в очень небольшой степени создается лампами, а главная его часть получается в результате действия различного рода атмосферных и индустриальных помех. Эти помехи усиливаются преселектором так же, как и принимаемые сигналы, и поэтому снижение усиления преселектора не портит отношения силы сигнала к силе атмосферных и индустриальных помех, а лишь уменьшает величину общего усиления приемника. Однако этот проигрыш в усилении можно без труда скомпенсировать в каскадах промежуточной и низкой частоты.

Остановимся теперь еще на одной функции преселектора. В приемниках довольно часто наблюдаются различного рода неприятные явления, вызываемые нелинейностью характеристик ламп усилителей высокой частоты и преобразователей. Эти явления возникают в тех случаях, когда на сетках ламп, помимо полезного принимаемого сигнала, действуют также сильные сигналы мешающих станций. Если частоты сильных помех заметно отличаются от частоты полезного сигнала, то после преобразования частоты эти помехи не будут пропущены к детектору фильтрами промежуточной частоты. Однако в результате нелинейности характеристик ламп та-

кие помехи могут вызывать появление свистов и, кроме того, их модуляция может «переходить» на принимаемые сигналы. В этом случае при приеме нужной станции на выходе приемника прослушивается передача мешающей станции, которая исчезает, если полезная принимаемая станция выключается.

Хороший преселектор в значительной степени ослабляет эти явления, так как он настраивается на частоту полезной принимаемой станции и не пропускает к сеткам ламп мешающие сигналы других частот. Упрощенный преселектор, используемый в приемнике РЛ-4, пропускает на управляющую сетку первой лампы различные частоты широкого диапазона и тем самым создает опасность возникновения указанных явлений. Однако, как показывают теория и практика, эти нежелательные явления вполне могут быть устранены не при помощи преселекции, а путем тщательного выбора режима первой лампы. Иногда может оказаться необходимым включить в цепь антенны фильтр-пробку с фиксированной настройкой для ослабления сигналов мешающей станции.

Таким образом, применение повышенной промежуточной частоты, позволяющее значительно упростить конструкцию и налаживание преселектора, оправдывается не только в простейших приемниках, подобных рассмотренному выше, но и в высококачественных радиолюбительских конструкциях.

Примером такой конструкции может служить радиола, разработанная В. Чернявским [1].

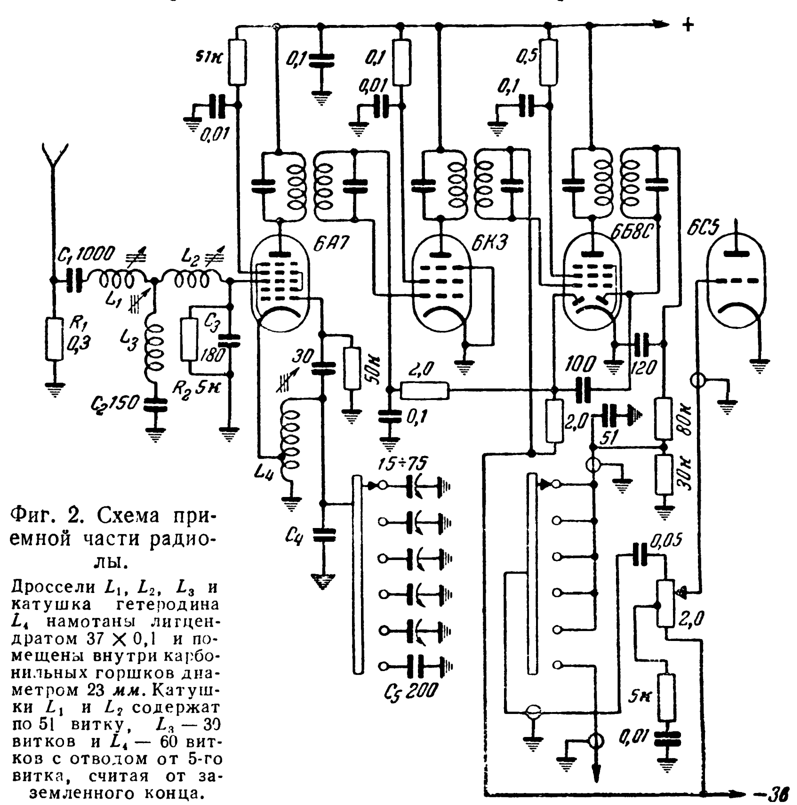
Приемник этой радиолы представляет собой четырехламповый супергетеродин (фиг. 2), промежуточная частота которого выбрана равной 1 600 *кгц*. Применение повышенной промежуточной частоты позволило использовать ненастраиваемый преселектор в виде Т-образного фильтра, образованного из дросселей L_1, L_2, L_3, конденсаторов C_1, C_2, C_3 и сопротивлений R_1, R_2. Первая лампа 6А7 работает в преобразовательном каскаде, следующая лампа 6К3 и пентодная часть третьей лампы 6Б8С используются в каскадах усиления промежуточной частоты. Диоды лампы 6Б8С служат для детектирования сигналов и для получения напряжения АРУ. Четвертая лампа 6С5 работает в схеме предварительного усилителя низкочастотных колебаний.

Так как эта радиола предназначается для высококачественного приема мощных радиовещательных станций, она

---

[1] „Радио", 1951, № 7.

имеет только пять фиксированных настроек. Применение ненастраиваемого преселектора позволило менять фиксированные настройки только путем переключения подстроечных конденсаторов в контуре гетеродина при помощи переключателя настройки. Шестое положение переключателя соот-



Фиг. 2. Схема приемной части радиолы.

Дроссели L_1, L_2, L_3 и катушка гетеродина L_4 намотаны лигцендратом 37 × 0,1 и помещены внутри карбонильных горшков диаметром 23 *мм*. Катушки L_1 и L_2 содержат по 51 витку, L_3 — 30 витков и L_4 — 60 витков с отводом от 5-го витка, считая от заземленного конца.

ветствует воспроизведению граммзаписей; в этом положении в контур гетеродина включается постоянный конденсатор C_5, а к входу усилителя низкой частоты присоединяется звукосниматель.

Использование высокой промежуточной частоты приводит в этой схеме к заметному расширению полосы пропускания усилителя промежуточной частоты. При достаточной мощности сигналов принимаемых станций и при невысоком уровне помех такое расширение полосы пропускания не является вредным, так как оно способствует получению высококаче-

ственного звучания передач. При желании сократить полосу пропускания до нормальной ширины это может быть достигнуто путем использования фильтров промежуточной частоты с повышенной добротностью (например, с замкнутым магнитопроводом из магнитодиэлектрика).

Обратим внимание на то, что использование повышенной промежуточной частоты заставляет повышать рабочие частоты гетеродина, вследствие чего даже при приеме станций, работающих на длинных и средних волнах, приходится заботиться об улучшении стабильности гетеродина, особенно при не очень широкой полосе пропускания приемника. С этой целью в указанном приемнике использован термокомпенсирующий конденсатор C_4 типа КДК-1Ж емкостью 15 *пф*. Кроме того, гетеродин поставлен в облегченный режим, катушка гетеродинного контура выполнена с высокой добротностью, применена керамическая ламповая панель. Эти простые меры позволили получить требуемую стабильность фиксированных настроек.

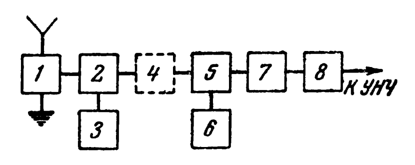
ДВОЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

Как уже было сказано, для упрощения преселектора необходимо использовать повышенные промежуточные частоты. Однако, облегчая задачу борьбы с приемом зеркального канала, повышение промежуточной частоты вместе с тем приводит к снижению устойчивого усиления каждого каскада и, что более неприятно, к нежелательному расширению полосы пропускания приемника, т. е. к ухудшению избирательности относительно соседних каналов приема.

Для частичного устранения этих недостатков можно использовать фильтры промежуточной частоты с контурами, обладающими повышенной добротностью. Но повышать добротность контуров можно лишь до известных пределов, что ограничивает возможности этого способа.

Другим путем борьбы с нежелательными последствиями повышения промежуточной частоты является использование схем с положительной обратной связью, как это сделано в приемнике РЛ-4. Однако применение обратной связи вынуждает при настройке приемника регулировать ее величину посредством отдельной ручки. Кроме того, на границе самовозбуждения работа схем с обратной связью делается неустойчивой. Поэтому более удачным способом устранения указанных недостатков является применение двойного преобразования частоты.

Скелетная схема приемника с двойным преобразованием частоты изображена на фиг. 3. В этом приемнике за преселектором (который может быть любым, не обязательно ненастраиваемым) следует первый преобразователь частоты. В анодную цепь преобразователя включен контур или полосовой фильтр, настроенный на первую промежуточную частоту, которая берется обычно высокой (1,2 5 *мггц*). Иногда эта промежуточная частота усиливается специальным каскадом, после чего поступает на вход второго преобразователя частоты, который преобразует ее в более низкую



1 — преселектор; *2* — первый преобразователь частоты; *3* — первый гетеродин; *4* — усилитель первой промежуточной частоты; *5* — второй преобразователь; *6* — второй гетеродин; *7* — усилитель второй промежуточной частоты; *8* — детектор.

Фиг. 3. Скелетная схема приемника с двойным преобразованием частоты.

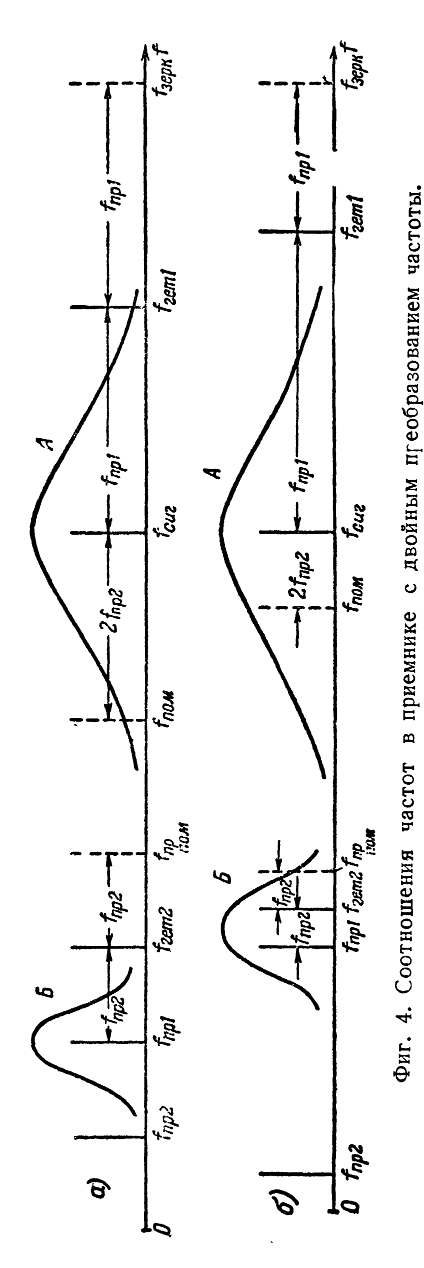
вторую промежуточную частоту (обычно 465 *кгц*). Далее идут обычные каскады усиления второй промежуточной частоты, детектор и усилитель низкой частоты.

В такой схеме высокая первая промежуточная частота облегчает борьбу с зеркальным приемом и позволяет упростить конструкцию преселектора. Низкая вторая промежуточная частота позволяет получить большое усиление и хорошую избирательность относительно соседних каналов.

Казалось бы, что для получения наилучшего действия такой схемы следует выбирать первую промежуточную частоту возможно более высокой, а вторую — возможно более низкой. Однако в действительности оказывается, что это не совсем так.

На фиг. 4 изображены оси частот, на которых отмечены первая и вторая промежуточные частоты $f_{пр\,1}$ и $f_{пр\,2}$. Если мы хотим принимать станцию, работающую на частоте $f_{сиг}$, то настройку гетеродина первого преобразователя следует установить так, чтобы генерируемая им частота $f_{гет\,1}$ была выше (или ниже) $f_{сиг}$ на величину $f_{пр\,1}$. Линия *А* изображает резонансную кривую преселектора. Зеркальная частота $f_{зерк}$ оказывается выше частоты сигнала на удвоенную величину первой промежуточной частоты, т. е. на $2f_{пр\,1}$ и контурами преселектора не пропускается.

Для того чтобы первую промежуточную частоту преобразовать во вторую промежуточную частоту, гетеродин второго преобразователя нужно настроить на частоту $f_{гет\,2}$, лежащую выше (или ниже) частоты $f_{пр\,1}$ на величину $f_{пр\,2}$. Как и при всяком преобразовании частот, при такой настройке второго гетеродина во вторую промежуточную частоту может преобразовываться не только первая промежуточная частота, но и ее зеркальная частота $f_{пр.\,пом}$, которая отличается от частоты $f_{пр\,1}$ на удвоенную величину $f_{пр\,2}$.



Фиг. 4. Соотношения частот в приемнике с двойным преобразованием частоты.

а — при средних значениях промежуточных частот; *б* — при высокой первой и низкой второй промежуточной частоте.

Эта частота $f_{пр.\,пом}$ может появиться как результат преобразования в первом преобразователе частоты $f_{пом}$, которая отличается от частоты принимаемого сигнала на ту же величину $2f_{пр\,2}$.

Очевидно, устранить прием на частоте $f_{пом}$ можно либо путем подавления колебаний этой частоты в преселекторе, либо путем подавления колебаний частоты $f_{пр.\,пом}$ в фильтре первой промежуточной частоты (резонансная кривая *Б*).

Если первую промежуточную частоту выбрать

очень высокой, то резонансная кривая фильтра первой промежуточной частоты (кривая Б) будет очень тупой. При низкой второй промежуточной частоте отличие частоты $f_{пом}$ от частоты $f_{сиг}$, а также частоты $f_{пр. пом}$ от частоты $f_{пр 1}$ окажется небольшим. В результате при высокой первой промежуточной частоте и при низкой второй ослабление приема на частоте $f_{пом}$ может оказаться недостаточным. Это вынуждает в приемниках с двойным преобразованием частоты первую промежуточную частоту брать не слишком высокой (в пределах 1,2÷5 *мггц*), а вторую промежуточную частоту не слишком низкой (обычно ее берут равной 465 *кгц*).

Благодаря тому что второй преобразователь имеет неизменную настройку, конструкция его получается очень простой и усложнение приемника, обусловленное применением двойного преобразования частоты, вполне окупается возможностью упростить преселектор.

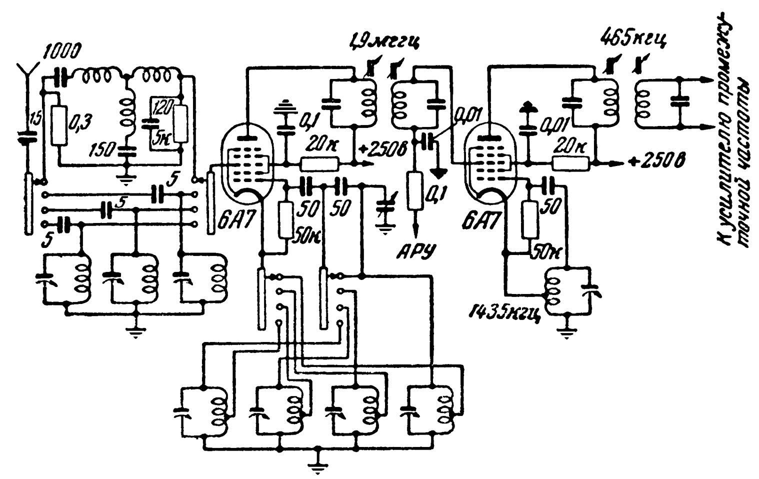
Часто в контур гетеродина второго преобразователя вводят небольшой конденсатор переменной емкости, при помощи которого частоту этого гетеродина можно изменять на 25÷30 *кгц* в обе стороны от ее нормального значения. Поскольку обычно преселектор и фильтр первой промежуточной частоты имеют полосу пропускания порядка 50 ÷ 60 *кгц*, такое изменение частоты второго гетеродина позволяет плавно изменять принимаемую частоту на ±25 ÷ 30 *кгц*. Тем самым создается очень удобная растянутая настройка в любой точке диапазона. Достоинствами ее являются, во-первых, простота, а во-вторых, то, что величина изменения настройки (в килогерцах) не зависит от того, в какой точке диапазона производится растянутая настройка. Это позволяет ввести в приемник отдельную шкалу растянутой настройки с неизменной градуировкой в килогерцах.

Опыт работы с приемниками, выполненными по схеме двойного преобразования частоты, показывает, что важное значение имеют тщательное экранирование обоих гетеродинов и работа преобразователей частоты в режимах, рекомендуемых для применяемых ламп. Несоблюдение этих условий может вызвать появление свистов на выходе приемника.

На фиг. 5 приведена схема первых каскадов радиовещательного приемника с двойным преобразованием частоты и с упрощенным ненастраиваемым преселектором того же типа, который используется в приемнике В. Чернявского.

Мы рассмотрели наиболее употребительный вариант приемников с двойным преобразованием частоты, у которых первый преобразователь частоты имеет настраиваемый гетеродин, а контуры первой промежуточной частоты и гетеродин второго преобразователя имеют фиксированную настройку.

Однако возможен и другой вариант схемы с двойным преобразованием частоты, при котором первый гетеродин имеет фиксированную настройку, а в соответствии с часто-



Фиг. 5. Схема входной части приемника с двойным преобразованием частоты и с ненастраиваемым преселектором.

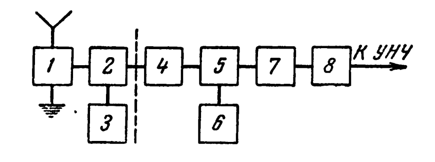
той принимаемого сигнала настраиваются контуры первой промежуточной частоты и гетеродин второго преобразователя.

Скелетная схема приемника такого вида приведена на фиг. 6. В этой схеме перед первым преобразователем частоты применен широкополосный ненастраиваемый преселектор. Он пропускает к первому преобразователю все частоты принимаемого диапазона и отфильтровывает соответствующие зеркальные частоты, которые благодаря большой величине первой промежуточной частоты находятся вне диапазона принимаемых частот. Гетеродин первого преобразователя работает на фиксированной частоте и обычно имеет кварцевую стабилизацию. В этих условиях анодный ток преобразовательной лампы содержит составляющие различных промежуточных частот, которые получаются в результате преобразования частот разных сигналов, поступающих на

вход преобразователя. Контур в анодной цепи первого преобразователя может настраиваться на любую из этих частот и тем самым позволяет выделить колебания той промежуточной частоты, которая образуется в результате преобразования сигналов нужной станции. Гетеродин второго преобразователя настраивается так, чтобы эта выделенная первая промежуточная частота преобразовалась во вторую постоянную для данного приемника промежуточную частоту, на которую настроены последующие контуры.

По существу все части такого приемника, лежащие справа от пунктирной линии на фиг. 6, образуют самый обык-

1 — широкополосная ненастраиваемая входная цепь; 2 — первый преобразователь частоты; 3 — первый ненастраиваемый гетеродин; 4 — настраиваемый контур первой промежуточной частоты; 5 — второй преобразователь частоты; 6 — второй настраиваемый гетеродин; 7 — усилитель второй промежуточной частоты; 8 — детектор.



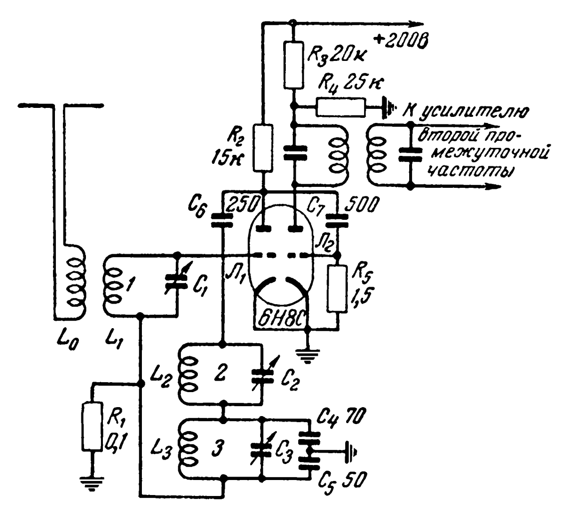
Фиг. 6. Скелетная схема приемника с двойным преобразованием частоты при фиксированной частоте первого гетеродина.

новенный супергетеродинный приемник с однократным преобразованием частоты. Что же касается действия частей схемы, лежащих слева от пунктирной линии, то они сдвигают частоты всех сигналов принимаемого поддиапазона по оси частот на одну и ту же величину, которая определяется частотой первого гетеродина. При смене диапазона настройка преселектора и частота первого гетеродина меняются с таким расчетом, чтобы диапазон первых промежуточных частот, на которые настраивается контур в анодной цепи первого преобразователя, во всех случаях был одним и тем же.

Такая схема применяется чаще всего, когда необходимо путем добавления дополнительных каскадов на входе приспособить имеющийся приемник для приема более высоких частот, чем те, на которые он рассчитан. Иногда по этой схеме строятся высококачественные коротковолновые радиолюбительские связные приемники. В последнем случае основным достоинством такой схемы является возможность получить высокую стабильность настройки и калибровки шкалы приемника. Эта стабильность достигается тем, что первый гетеродин стабилизируется кварцем, тогда как нестабильность второго гетеродина с плавной настройкой ока-

зывается несущественной, так как он работает на сравнительно низких частотах.

Некоторое применение в последнее время находят схемы, в которых для двукратного преобразования частоты используется один гетеродин. Примером такой схемы является входная часть приемника ультракоротких волн, изображенная на фиг. 7. В этой схеме используется двойной триод с небольшим коэффициентом усиления. Триод $Л_1$ работает



Фиг. 7. Схема входа приемника ультракоротких волн с двойным преобразованием частоты при одном гетеродине.

в схеме гетеродина и первого преобразователя частоты, а триод $Л_2$ выполняет функции второго преобразователя частоты.

Контур *1* настраивается на частоту принимаемого сигнала. Контур *2* настраивается на первую промежуточную частоту, которая в этой схеме изменяется при настройке приемника на различные частоты диапазона. Контур *3* является контуром гетеродина, выполненного по схеме с емкостной обратной связью, создаваемой конденсаторами C_4 и C_5.

Несмотря на сложное включение контуров, в изображенной схеме нетрудно проследить обычные цепи. Действительно, напряжение частоты принимаемого сигнала с контура *1* подается на сетку и катод (через конденсатор C_5) триода $Л_1$.

Контур *2* включен в анодную цепь триода $Л_1$ по обычной схеме параллельного питания. Нижний конец этого контура соединен с катодом триода $Л_1$ через конденсатор C_4.

Если учесть, что для частоты гетеродина контуры *1* и *2* представляют очень небольшие сопротивления, то окажется, что контур *3* включен по обычной схеме гетеродина с емкостной обратной связью (он включен между анодом и сеткой триода $Л_1$, а средняя точка конденсаторов C_4C_5 присоединена к катоду). Сопротивление R_1 замыкает цепь сетки триода $Л_1$ по постоянному току.

При таком включении на сетке триода $Л_1$ действуют напряжение принимаемого сигнала и напряжение гетеродина. Образующиеся в анодной цепи колебания тока первой промежуточной частоты развивают на контуре *2* соответствующее напряжение, которое вместе с напряжением гетеродина поступает на сетку триода $Л_2$ через разделительные конденсаторы C_6 и C_7. В анодной цепи этого триода образуются колебания второй промежуточной частоты. Нагрукой анодной цепи является полосовой фильтр, настроенный на вторую промежуточную частоту.

Рассмотрим соотношения частот в этой схеме при второй промежуточной частоте $f_{пр\,2} = 4{,}3$ *мггц*. Пусть частота принимаемого сигнала $f_{сиг} = 100$ *мггц*. Тогда гетеродин необходимо настроить на частоту

$$f_{гет} = \frac{f_{сиг} - f_{пр\,2}}{2} = 47{,}85 \text{ мггц}.$$

При этом первая промежуточная частота получается равной:

$$f_{пр\,1} = f_{сиг} - f_{гет} = \frac{f_{сиг} + f_{пр\,2}}{2} = 100 - 47{,}85 =$$

$$= \frac{100 + 4{,}3}{2} = 52{,}15 \text{ мггц},$$

а вторая промежуточная частота, получаемая в результате второго преобразования,

$$f_{пр\,2} = f_{пр\,1} - f_{гет} = 52{,}15 - 47{,}85 = 4{,}3 \text{ мггц}.$$

Недостатком рассмотренной схемы является то, что первая промежуточная частота изменяется при настройке приемника на различные частоты. Это вынуждает осуществлять сопряжение настроек трех контуров — входного контура, контура гетеродина и контура первой промежуточной частоты.

КОНВЕРТЕРЫ

Своеобразной формой двойного преобразования частоты является использование так называемых *конвертеров* (сравнительно несложных приставок, позволяющих расширить диапазон любого приемника). Схема конвертера обычно содержит входной контур и преобразователь частоты с местным гетеродином; выход этого преобразователя соединяется со входом имеющегося приемника.

При приеме сигнала с частотой, лежащей вне диапазона приемника, конвертер производит преобразование этой частоты в такую, которая может быть принята приемником. Если приемник выполнен по схеме прямого усиления, то добавление к нему конвертера образует схему супергетеродина с однократным преобразованием частоты, в которой приемник играет роль усилителя промежуточной частоты, детектора и усилителя колебаний звуковых частот. Если же имеющийся приемник сам является супергетеродином, то добавление к нему конвертера образует схему с двойным преобразованием частоты.

В свое время конвертеры находили широкое применение среди радиолюбителей для приема коротковолновых сигналов при помощи приемников длинных и средних волн. В настоящее время конвертеры используются для приема обычными радиовещательными приемниками сигналов метрового диапазона.

Используя конвертер, можно осуществлять различные способы настройки. Наиболее распространен способ, при котором настройке подвергаются входной контур и гетеродин конвертера, тогда как настройка приемника остается неизменной. Этот случай соответствует обычному варианту двойного преобразования частоты.

Однако возможен и другой способ, при котором частота гетеродина конвертера остается неизменной, а входной контур конвертера пропускает к его преобразователю все сигналы принимаемого диапазона. В этом случае на выходе конвертера возникают колебания с разными промежуточными частотами, которые соответствуют разным радиосигналам. Выделение того или другого из этих преобразованных конвертером сигналов производится в рассматриваемом случае путем настройки приемника, соединенного с конвертером. Этот вариант соответствует схеме двойного преобразования частоты, изображенной на фиг. 6.

Такой способ настройки удобнее, так как он позволяет использовать механизм настройки приемника и освобождает

от необходимости иметь такой механизм в конвертере. Кроме того, этот способ позволяет заметно повысить стабильность приема путем кварцевой стабилизации гетеродина конвертера. Надо, однако, учитывать, что при таком способе настройки входной контур конвертера должен иметь широкую полосу пропускаемых частот, чтобы на сетку преобразовательной лампы конвертера попадали все сигналы принимаемого диапазона; на метровых волнах это не вызывает особых трудностей.

На фиг. 8 приведены разработанные Г. Костанди и В. Яковлевым две схемы простых конвертеров [1], которые позволяют производить прием любительских ультракоротковолновых радиостанций, работающих в диапазоне 85—87 *мггц*, на любой приемник, способный принимать частоты от 10 до 12 *мггц*. В этих схемах лампа работает одновременно и как смесительная и как гетеродинная. Входной контур L_2C_1 настраивается при помощи подстроечного конденсатора на среднюю частоту диапазона, равную 86 *мггц*. Гетеродинная часть схемы выполнена с автотрансформаторной обратной связью и может генерировать частоты от 71 до 75 *мггц*. Настройка контура гетеродина производится при помощи латунного «флажка», вдвигаемого между витками катушки L_3.

Чтобы ослабить излучение колебаний гетеродина, входной контур L_2C_1 соединяется с той точкой гетеродинного контура L_3C_3, которая имеет нулевой потенциал.

В анодную цепь лампы включен широкополосный трансформатор *Тр* первой промежуточной частоты, с выхода которого преобразованные колебания подаются по коаксиальному кабелю на вход приемника.

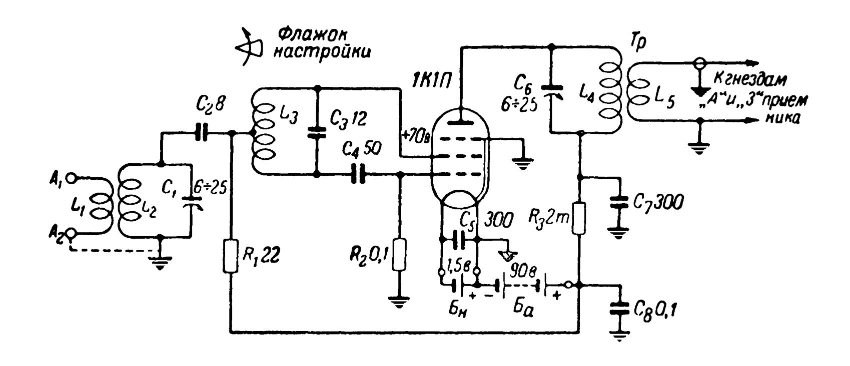
Эти схемы работают весьма надежно, обеспечивая с обычным радиовещательным приемником чувствительность порядка 30 *мкв*. Налаживание схем сводится лишь к подстройке контуров на требуемые частоты.

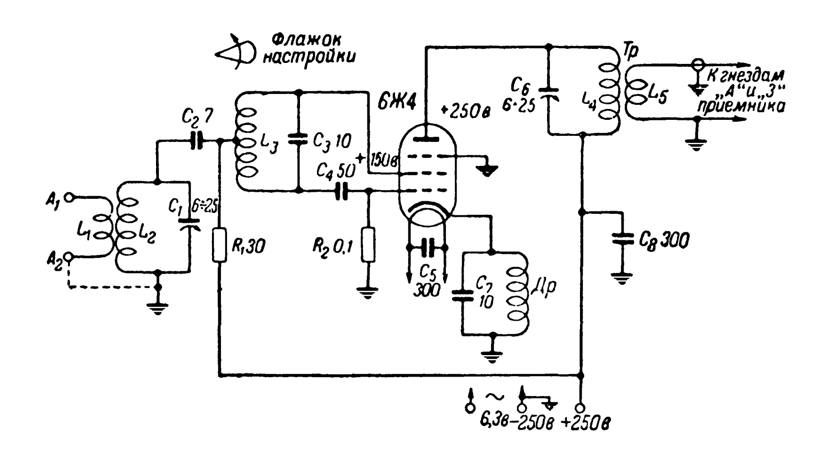
Сильное упрощение конвертера может быть достигнуто, если, применяя конвертер, использовать схему двойного преобразования частоты с одним гетеродином, рассмотренную выше. В этом случае в качестве единственного гетеродина можно использовать гетеродин, уже имеющийся в приемнике.

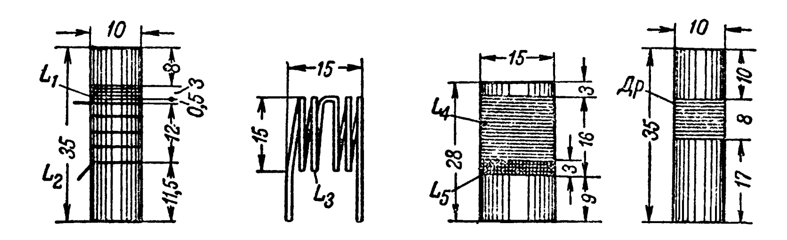
Конвертер такого типа был разработан Г. Костанди [2]. Схема этого конвертера приведена на фиг. 9. Она получи-

---

[1] „Радио", 1952, № 7.
[2] „Радио", 1951, № 11.





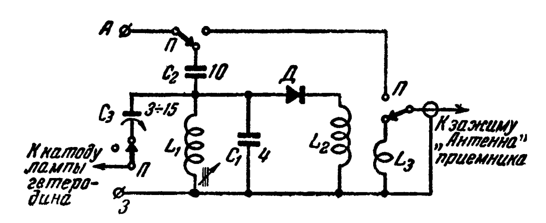


Фиг. 8. Схемы конвертеров с батарейным и сетевым питанием.

Катушка L_1 состоит из 5 витков ПЭ 0,35, L_2 — 5,5 витка ПЭ 1,0, L_3 — 5 витков ПЭ 0,35, L_4 — 32 витка ПЭ 0,35 и L_5 — 6 витков ПЭ 0,35. Дроссель *Др* содержит 14 витков ПЭ 0,35. Катушка L_4 намотана поверх катушки L_5, ближе к ее заземленному концу.

лась особенно простой благодаря тому, что в качестве нелинейного элемента, необходимого для преобразования частоты, вместо лампы используется кристаллический смеситель.

Радиолюбители хорошо знакомы с использованием контактов между металлом и кристаллическим полупроводником для целей детектирования, которое представляет собой в сущности одну из разновидностей преобразования частоты, так как в процессе детектирования высокочастотные модулированные колебания преобразуются в колебания звуковой частоты. Подобно этому такие металл-кристаллические контакты могут с успехом применяться и для целей преобразо-



Фиг. 9. Схема безлампового конвертера. Переключатели *П* служат для перехода на прием без конвертера.

вания частоты в супергетеродинных приемниках. Кристаллические смесители уже в течение ряда лет находят широкое применение в приемниках сантиметрового диапазона волн, где обычные ламповые смесители в силу ряда причин оказываются неприменимыми. На более длинных волнах кристаллические смесители используются редко, так как они, преобразуя частоту, не только не усиливают, но даже в 3—4 раза ослабляют принимаемые сигналы. Однако, если это ослабление не имеет особого значения, кристаллические смесители оказываются очень удобными благодаря тому, что они не требуют питания, а также благодаря своим малым размерам.

Надо заметить, что величина ослабления преобразуемых сигналов, а также уровень собственных шумов кристаллических смесителей зависят от величины напряжения гетеродина, действующего на смеситель. В рассматриваемой схеме величину этого напряжения можно менять, регулируя емкость конденсатора связи C_3. Величину связи смесителя с гетеродином удобнее всего контролировать, измеряя выпрямленный ток, текущий в цепи кристаллического смеси-

теля. Наивыгоднейшая связь соответствует величине этого тока порядка 0,3—0,5 *ма*.

Для работы в преобразователях частоты выпускаются специальные кристаллические смесители, однако на частотах до 50—60 *мггц* достаточно хорошо работают и обычные современные кристаллические детекторы, выпускаемые для использования в детекторных приемниках.

РЕФЛЕКСНЫЕ СХЕМЫ

Рефлексными называются такие схемы приемников, в которых одна и та же лампа служит для выполнения нескольких различных функций. Наиболее употребительными являются рефлексные схемы, в которых лампа используется для усиления колебаний как высокой, так и звуковой частоты. Если проследить путь сигнала в таком приемнике, то окажется, что принятые высокочастотные колебания усиливаются рассматриваемой лампой, затем поступают на детектор, где преобразуются в звуковые колебания, а потом возвращаются назад и вновь усиливаются той же лампой Название рефлексных схем как раз и указывает на такое обратное движение сигнала в схеме.

Построение подобных рефлексных схем оказывается возможным благодаря большой разнице в величине высокой и звуковой частот, которая позволяет разделить нагрузки лампы для этих частот и практически полностью исключить их взаимное влияние при условии, что лампа работает в линейном режиме. При сильных принимаемых сигналах рабочий участок заходит в нелинейные области характеристик лампы, что приводит к нежелательным явлениям.

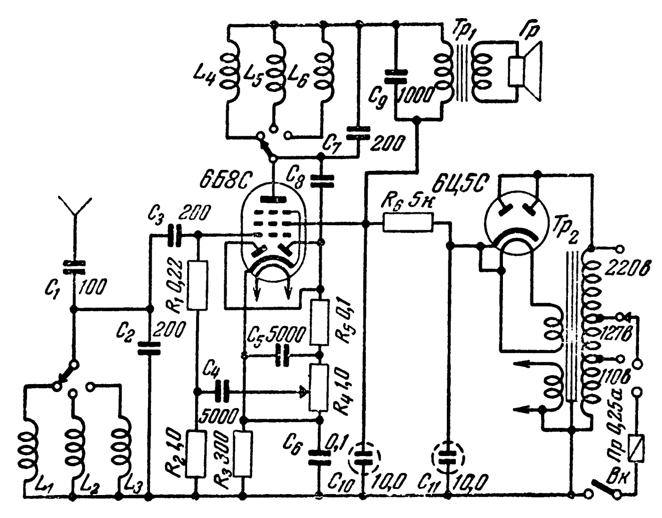
Принцип рефлексных схем известен давно, однако широкое применение в промышленных и любительских приемниках они стали находить лишь в последние годы.

На фиг. 10 приведена схема простого приемника прямого усиления на три фиксированные настройки, разработанного В. Ванкевичем[1]. Приемник имеет каскад усиления радиочастотных колебаний, диодный детектор и каскад усиления колебаний звуковой частоты, однако благодаря применению рефлексной схемы в нем используется лишь одна комбинированная лампа — двойной диод-пентод типа 6Б8С.

Антенна связана через емкость C_1 с входным контуром L_1 (или L_2, L_3) C_2, настроенным на частоту принимаемого сигнала. С этого контура напряжение радиосигнала подается

[1] „Радио", 1950, № 7.

на управляющую сетку пентода. В анодную цепь пентода включен контур L_4 (или L_5, L_6) C_7 (тоже настроенный на частоту сигнала). С контура радиочастотные колебания поступают на диодный детектор, нагрузкой которого служит цепь $R_5R_4C_5$. Звуковое напряжение с нагрузки детектора через цепь C_4R_1 подается на управляющую сетку пентода и усиливается им. В анодную цепь пентода включен выходной трансформатор $Тр_1$ с громкоговорителем $Гр$. Чтобы выходной трансформатор не мешал усилению радиочастотных



Фиг. 10. Схема рефлексного приемника прямого усиления.

колебаний, он шунтируется конденсатором C_9, который для радиочастотных колебаний представляет малое сопротивление (этот конденсатор одновременно служит для коррекции частотной характеристики усилителя звуковых колебаний). Наличие контура L_4 (или L_5, L_6) C_7 в анодной цепи лампы не мешает усилению колебаний звуковых частот, так как для них сопротивление контура ничтожно.

В рассмотренной схеме существует опасность появления нежелательной обратной связи, способной нарушить работу приемника. Эта обратная связь может возникнуть, если напряжение высокой частоты будет подаваться из анодной цепи лампы через детектор вместе со звуковым напряжением на управляющую сетку лампы. Для устранения такой обратной связи между выходом детектора и сеткой лампы приходится вводить фильтр высокочастотных колебаний.

В схеме фиг. 10 для замыкания напряжения высокой частоты, возникающего на выходе детектора, служит конденсатор C_5, сопротивление которого для напряжения высокой частоты очень мало, а для звукового напряжения велико. Чтобы этот конденсатор не шунтировал вход приемника, используется сопротивление R_1. Сопротивление R_2 замыкает цепь управляющей сетки лампы по постоянному току. Для улучшения фильтрации сопротивление R_2 полезно шунтировать емкостью в 50—100 *пф*.

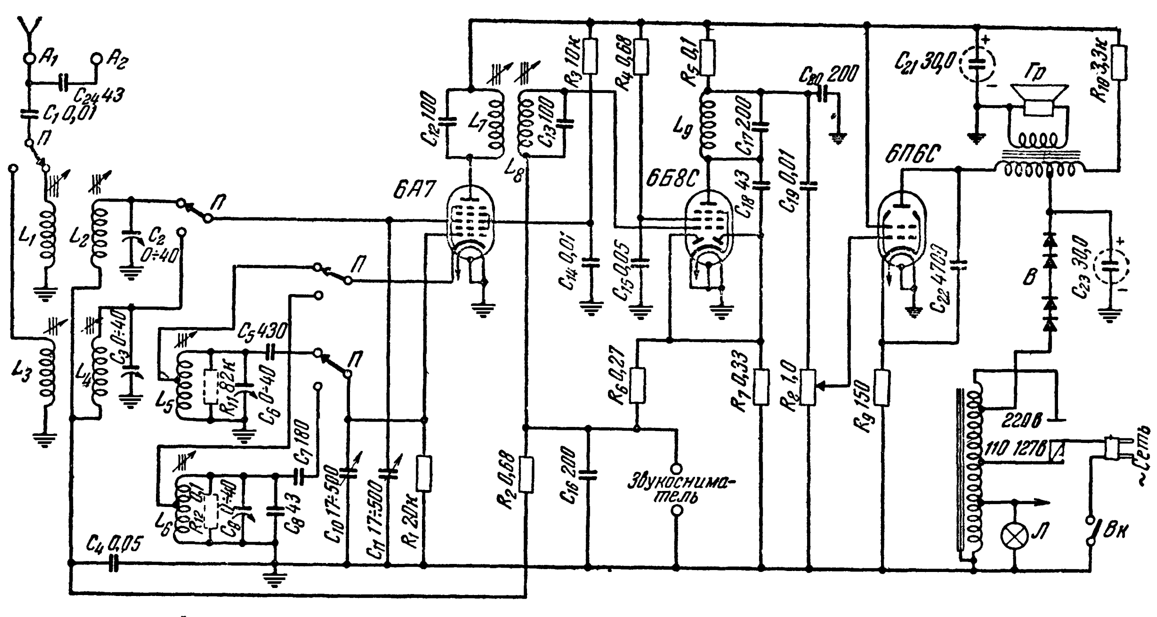
Смена фиксированных настроек производится путем переключения контурных катушек. Катушки намотаны проводом ПШД 0,15 на каркасах диаметром 20 *мм* «внавал» между щечками, имеющими промежуток 5 *мм*. Каждая катушка состоит из двух секций; настройка контура на нужную частоту производится путем их сдвигания или раздвигания. Катушка для волны 1 734 *м* имеет 440 витков, для 1 141 *м* — 300 витков и для 344 *м* — 84 витка.

Громкоговоритель можно взять любой, трансляционного типа. Трансформированное сопротивление нагрузки в анодной цепи должно быть 6—8 *ком*.

Силовой трансформатор $Тр_2$ собран на сердечнике Ш-20 × 25 *мм*. Сетевая обмотка на 110, 127 и 220 *в* состоит соответственно из 908 витков ПЭЛ 0,18 плюс 140 витков ПЭЛ 0,18 плюс 768 витков ПЭЛ 0,14. Каждая из обмоток на 6,3 *в* содержит 52 витка ПЭШО 0,4.

Рефлексные схемы находят также широкое применение в простых супергетеродинных приемниках, где они позволяют использовать одну и ту же лампу для усиления колебаний как промежуточной, так и звуковых частот. На фиг. 11 приведена хорошо отработанная схема такого типа (приемника «Москвич»).

Здесь напряжение промежуточной частоты, снимаемое с контура L_8C_{13}, поступает через емкость C_{16} на сетку и катод лампы 6Б8С. Нагрузкой этой лампы по промежуточной частоте является контур L_9C_{17}, с которого напряжение подается на диодный детектор (диодная часть лампы 6Б8С). Нагрузкой детектора служит цепь из R_7, R_6, C_{16}, с которой звуковое напряжение через контур L_8C_{13} поступает обратно на управляющую сетку лампы 6Б8С. Для звукового напряжения анодной нагрузкой этой лампы служит сопротивление R_5, с которого усиленное звуковое напряжение подается на управляющую сетку выходной лампы 6П6С. Для того чтобы на сопротивлении R_5 не возникало падение напряжения промежуточной частоты, в схему введен конденсатор C_{20},



Фиг. 11. Схема рефлексного супергетеродинного приемника „Москвич".

сопротивление которого для звуковых частот велико, а для промежуточной частоты мало. Емкость C_{16} предотвращает проникновение напряжения промежуточной частоты с выхода детектора на управляющую сетку лампы 6Б8С вместе с звуковым напряжением.

Недостатком рефлексных схем является то, что они создают несколько бо́льшие искажения, чем схемы с раздельными лампами. Кроме того, при приеме сильных сигналов система автоматической регулировки усиления, имеющаяся в приемниках типа «Москвич», создает большое напряжение смещения на управляющей сетке лампы рефлексного каскада. При этом в пентодной части лампы происходит анодное детектирование. В результате этого на выходе рефлексного каскада возникают два почти противофазных напряжения звуковой частоты, одно из которых создается усилением напряжения, получаемого с выхода диодного детектора, тогда как другое обусловлено анодным детектированием. Если регулятор громкости поместить в цепь управляющей сетки лампы 6Б8С, то при некотором среднем положении регулятора громкости эти два напряжения почти компенсируют одно другое. При повороте регулятора в любую сторону от этого положения громкость приема возрастает. Кроме того, около точки такой компенсации прием оказывается сильно искаженным.

Если же регулятор громкости поместить в цепь сетки следующей лампы, как это показано на фиг. 11, то при сильных сигналах лампа 6Б8С будет перегружаться, что также вызовет искажения.

Борьба с этим недостатком возможна путем отказа от подачи напряжения автоматической регулировки усиления на управляющую сетку лампы рефлексного каскада, а также путем тщательного подбора напряжения начального смещения этой лампы.

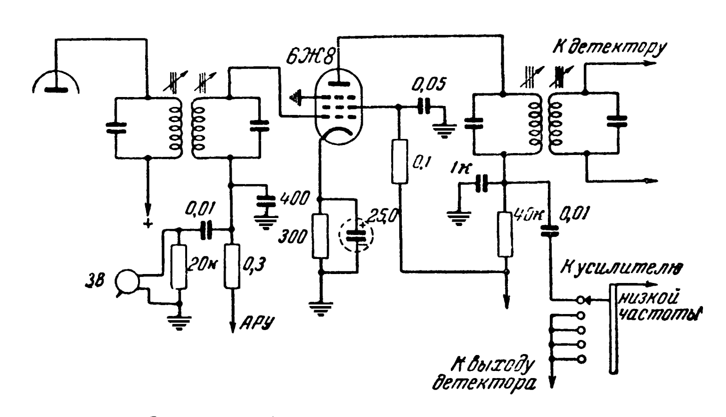
УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Рассмотрим еще одну комбинированную схему усилителя промежуточной и звуковой частоты. Она не является рефлексной, так как в зависимости от переключений используется либо как усилитель промежуточной частоты, либо как усилитель низкой частоты. Такие схемы находят применение по следующим причинам. Для обеспечения хорошей избирательности и чувствительности приемника в нем приходится применять большое число каскадов высокой и промежуточной частоты. При этом на выходе детектора обычно

развивается звуковое напряжение порядка нескольких вольт, для дальнейшего усиления которого достаточно использовать небольшое число каскадов низкой частоты.

Вместе с тем при работе от граммофонного звукоснимателя, дающего небольшое напряжение, число каскадов усиления низкой частоты может оказаться недостаточным. В этом случае желательно использовать одну из ламп, работающих в каскадах высокой или промежуточной частоты, для создания дополнительного усиления по низкой частоте.

Такая схема, примененная в приемнике РЛ-5 *, изображена на фиг. 12. В ней одна из секций переключателя диа-



Фиг. 12. Схема комбинированного каскада, используемого в качестве усилителя промежуточной или низкой частоты.

пазонов *П* присоединяет вход усилителя низкой частоты либо к выходу детектора, либо к низкочастотному выходу комбинированного каскада, если он используется для усиления напряжения звукоснимателя. В схеме самого каскада никаких переключений для перехода от усиления промежуточной частоты и усилению низкой частоты производить не надо. Звукосниматель присоединяется параллельно сопротивлению развязки сеточной цепи через конденсатор (чтобы он не замыкал напряжения автоматической регулировки усиления). Анодная цепь каскада содержит помимо контура промежуточной частоты нагрузку для звуковой частоты — сопротивление, зашунтированное по промежуточной частоте конденсатором.

---

* „Радио“, 1947, № 5.

УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВЫЕ ПРИЕМНИКИ С МИНИМАЛЬНЫМ УРОВНЕМ ШУМОВ

В последнее время большой интерес вызывает проблема дальнего приема передач телевизионных центров, работающих в крупнейших городах нашей страны. Многочисленные опыты радиолюбителей показали, что эти передачи вполне можно принимать на расстояниях в 200—250 *км* от телецентров. Однако такой дальний прием передач на ультракоротких волнах требует использования специальных технических средств.

Прежде всего малая величина принимаемых сигналов заставляет повышать усиление приемника. Однако при этом резко проявляется вредное действие различных помех, среди которых наиболее важную роль играют помехи промышленного происхождения, космические помехи и так называемые *собственные шумы* приемного устройства.

Для того чтобы по возможности улучшить соотношение мощностей полезного сигнала и помех промышленного и космического происхождения, необходимо использовать остронаправленные антенны, хорошо согласованные с фидером и установленные возможно выше над поверхностью земли, вдали от источников промышленных помех. Понятно, что антенна с острой диаграммой направленности должна быть очень точно ориентирована по направлению прихода сигналов.

При выполнении этих условий основным видом помех радиоприему на метровых волнах оказываются собственные шумы приемника. Под этим названием понимают слабые электрические колебания, возникающие вследствие хаотического движения электронов в антенне, во всех проводниках и сопротивлениях схемы приемника, а также вследствие случайных изменений во времени количества электронов, пролетающих от катода к аноду каждой лампы приемника.

Такие шумы возникают во всех каскадах приемника, однако наиболее неприятными являются те из них, которые возникают в антенне и в первых каскадах. Эти шумы усиливаются всеми последующими каскадами, и поэтому они определяют основную долю шумов на выходе приемника. Что же касается шумов, которые возникают в последующих каскадах, то они подвергаются меньшему усилению и не имеют особого значения при условии, что первые каскады дают достаточно большое усиление.

Собственные шумы ограничивают достижимую, так называемую *реальную чувствительность* радиоприемника, так

как прием, очевидно, делается невозможным, если полезный сигнал на выходе приемника оказывается слабее шумов и «забивается» ими.

Важно обратить внимание на то, что увеличение усиления приемника не может в этом случае улучшить положения. Действительно, повышение усиления увеличит сигнал на выходе приемника, но в такой же мере будут увеличены и собственные шумы, вследствие чего их соотношение останется неизменным и прием попрежнему будет невозможным. Поэтому большую важность приобретают меры, позволяющие ослабить собственные шумы приемника и тем самым сделать его способным принимать более слабые сигналы (при условии увеличения общего усиления приемника).

Пути уменьшения собственных шумов приемника указывает теория, в разработке которой важную роль сыграли советские ученые во главе с В. И. Сифоровым. Эта теория приводит к следующим выводам о способах снижения собственных шумов приемника.

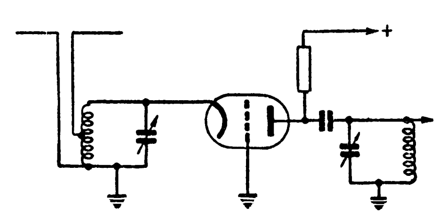
Первый каскад приемника сам должен создавать возможно более слабые шумы и, кроме того, он должен давать возможно более высокое усиление по мощности, чтобы ослабить действие шумов последующих каскадов.

Уменьшение собственных шумов первого каскада достигается тем, что во входной цепи используется контур с высокой добротностью, причем важную роль играет выбор величины его связи с антенной. В любительских условиях величину этой связи следует подбирать экспериментально, добиваясь наибольшего превышения сигнала над шумом на выходе приемника, хотя бы и за счет некоторой потери усиления. Такая потеря усиления не является опасной, так как ее можно скомпенсировать в последующих каскадах, тогда как плохое отношение сигнала к шуму в последующих каскадах улучшить нельзя.

Далее, очень важную роль играет выбор лампы первого каскада. Поскольку триоды шумят гораздо слабее, чем пентоды, для работы в первом каскаде желательно использовать либо триод, либо пентод, включенный как триод. Надо иметь в виду, что не все типы ламп пригодны для этой цели. Шумовые свойства ламп принято характеризовать величиной так называемого *шумового сопротивления*, которое указывается в ламповых справочниках. При работе на ультракоротких волнах лампы приобретают довольно низкое *входное сопротивление* вследствие сложных процессов, обусловленных тем, что время пролета электронов в лампе стано-

вится соизмеримым с длительностью периода колебаний высокой частоты. Это входное сопротивление с укорочением длины волны убывает для всех ламп пропорционально квадрату длины волны, однако разные типы ламп обладают различными коэффициентами пропорциональности, которые также приводятся в справочниках.

Теория показывает, что для ослабления собственных шумов необходимо использовать в первом каскаде такую лампу, которая обладает наименьшим отношением шумового сопротивления к входному сопротивлению. Из массовых ламп этому требованию лучше всего отвечает пентод типа 6ЖГП в триодном включении. Широко применяемый в телевизионных приемниках пентод типа 6Ж4 шумит заметно сильнее, чем эта лампа.



Фиг. 13. Схема каскада с заземленной сеткой.

Использование триода вместо пентода, позволяя уменьшить шумы, вместе с тем создает опасность самовозбуждения каскада. Это объясняется тем, что триоды обладают большой величиной емкости между сеткой и анодом, вследствие чего возникает переход энергии из цепи анода в цепь сетки, который вызывает самовозбуждение каскада в случае, если он обладает достаточно большим усилением напряжения.

Это затруднение может быть устранено, если каскад с триодом выполнить по схеме с *заземленной сеткой*, которая была впервые предложена выдающимся советским ученым М. А. Бонч-Бруевичем. Схема такого каскада приведена на фиг. 13. Здесь сетка триода заземлена, входной контур включен между катодом и землей, а выходной контур — между анодом и сеткой. Нетрудно видеть, что при таком включении междуэлектродная емкость, действующая между анодом и сеткой, оказывается присоединенной параллельно выходному контуру, а емкость, действующая между сеткой и катодом, включается параллельно входному контуру. Таким образом эти емкости влияют лишь на настройку контуров, но не создают положительной опасной связи между ними, которая могла бы вызвать самовозбуждение схемы. Положительная обратная связь входного и выходного контуров в этой схеме создается внутренним сопро-

тивлением лампы и междуэлектродной емкостью, действующей между анодом и катодом лампы. Однако заземленная сетка играет здесь роль экрана, который снижает эту опасную емкость до очень небольшой величины и тем самым устраняет опасность самовозбуждения.

Кроме того, надо заметить, что в схеме усилителя с заземленной сеткой, помимо указанной слабой положительной обратной связи, имеется также очень сильная отрицательная обратная связь. Она обусловлена тем, что анодный ток лампы протекает по входному контуру и создает на нем падение напряжения, которое оказывается приложенным между сеткой и катодом лампы. Эта отрицательная обратная связь еще более повышает устойчивость схемы, устраняя опасность самовозбуждения.

Можно доказать, что действие анодного тока, протекающего по входному контуру, оказывается таким же, какое было бы получено, если бы входной контур был зашунтирован сопротивлением, приблизительно равным $R = \frac{1}{S}$, где S — крутизна лампы. Величина этого сопротивления, называемого входным сопротивлением схемы с заземленной сеткой, обычно получается порядка 200—500 *ом*. Такое сильное шунтирование входного контура расширяет его полосу пропускания и часто позволяет делать этот контур ненастраиваемым даже при работе в довольно широком диапазоне частот.

Однако с точки зрения ослабления шумов приемника это малое входное сопротивление оказывается вредным. Оно увеличивает мощность, расходуемую на входе каскада с заземленной сеткой, и тем самым уменьшает величину усиления мощности, даваемого этим каскадом. Таким образом, каскад с триодом по схеме с заземленной сеткой сам шумит слабо благодаря использованию триода, но вместе с тем он дает малое усиление мощности, вследствие чего сильно проявляются шумы последующих каскадов.

В настоящее время наилучшим вариантом схемы входа приемника, который обеспечивает минимальную величину собственных шумов и вместе с тем работает вполне устойчиво, считается особая схема, содержащая два каскада на триодах. Первый из этих каскадов выполняется по обычной схеме усилителя с заземленным катодом, а второй — по схеме с заземленной сеткой.

В этой схеме нагрузкой для первого каскада является малое входное сопротивление следующего каскада с за-

земленной сеткой. В таких условиях усиление напряжения, даваемое первым каскадом, оказывается малым и этот каскад работает вполне устойчиво, несмотря на применение триода. Вместе с тем благодаря применению триода этот каскад создает лишь слабые шумы. Использование схемы с заземленным катодом позволяет получить от первого каскада большое усиление мощности, что ослабляет влияние шумов последующих каскадов.

Что же касается второго каскада, то он, обеспечивая устойчивую работу первого, вместе с тем дает достаточное усиление напряжения и тоже слабо «шумит» благодаря использованию триода.

Таким образом, рассмотренная схема наилучшим образом удовлетворяет всем требованиям, указанным выше.

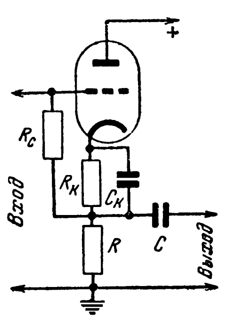
Обратим внимание теперь еще на одно важное обстоятельство, которое тоже влияет на величину собственных шумов приемника. Как показывает теория, собственные шумы проявляются тем сильнее, чем больше потери в фидере, соединяющем антенну с первым каскадом схемы приемника. При высоком расположении антенны длина фидера оказывается большой, потери в нем возрастают и в результате собственные шумы препятствуют приему слабых сигналов.

Чтобы избежать этого, необходимо первые каскады усиления помещать в непосредственной близости от антенны и с выхода их усиленные сигналы передавать по кабелю к остальной части приемника. В этом случае, однако, возникает одна трудность, вызываемая необходимостью согласовать выход предварительного антенного усилителя с кабелем. Для этого необходимо, чтобы выход усилителя был эквивалентен генератору с низким выходным сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля.

Такому требованию лучше всего отвечает каскад, выполненный по схеме так называемого усилителя с *заземленным анодом* или *катодного повторителя*, который был впервые предложен П. Н. Куксенко. Катодный повторитель является схемой, у которой заземлен (для переменного тока) анод лампы, а нагрузка включена в цепь катода (фиг. 14). Такие схемы обладают интересными свойствами и находят широкое применение в самых разнообразных радиотехнических устройствах.

Благодаря включению нагрузки в цепь катода выходное напряжение каскада совпадает по фазе с входным напряжением. Кроме того, включение нагрузки в цепь катода приводит к тому, что выходное напряжение каскада действует

в цепи между катодом и сеткой, т. е. здесь существует очень сильная отрицательная обратная связь. Эта обратная связь резко уменьшает входную емкость каскада и увеличивает его входное сопротивление. Вместе с тем эта же обратная связь создает очень малое выходное сопротивление каскада (примерно равное $\frac{1}{S}$), что и позволяет согласовать его с кабелем. Коэффициент усиления напряжения катодного повторителя с нагрузкой в виде сопротивления всегда бывает меньше единицы, т. е. его выходное напряжение имеет меньшую величину, чем входное. Искажения у катодного повторителя благодаря сильной отрицательной обратной связи очень малы.



Фиг. 14. Схема катодного повторителя.

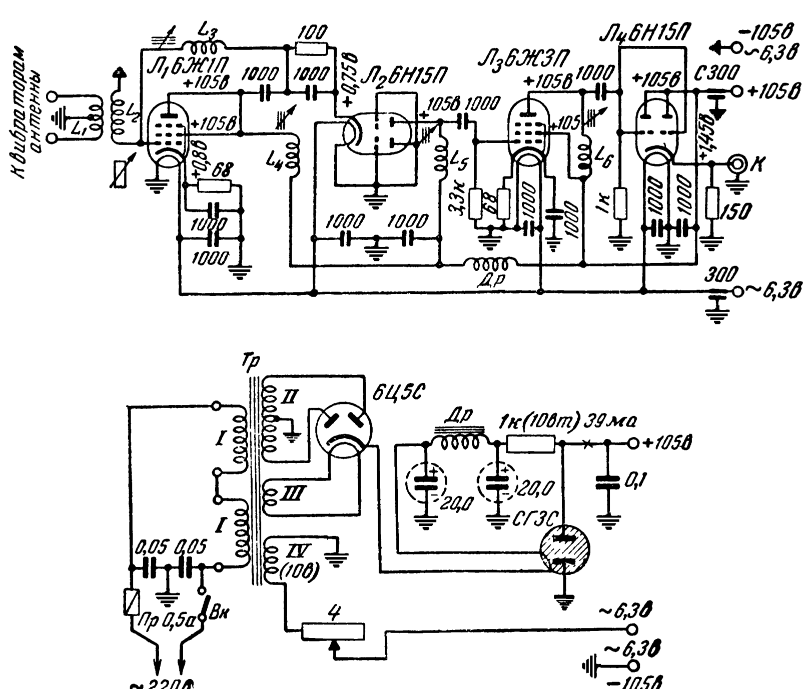
С учетом всего сказанного выше можно считать, что для дальнего приема телевидения наиболее рационально включать между антенной и обычным телевизором специальный предварительный усилитель, который должен помещаться в непосредственной близости от антенны и соединяться с телевизором посредством фидера в виде обычного коаксиального кабеля. Предварительный усилитель должен иметь первый каскад, выполненный на триоде по схеме с заземленным катодом, и второй каскад на триоде по схеме с заземленной сеткой. Выходной каскад для согласования с кабелем должен быть выполнен по схеме катодного повторителя.

При использовании такой схемы входа уровень собственных шумов снижается очень сильно, так что на фоне шумов можно принимать очень слабые сигналы. Однако, для того чтобы эти слабые сигналы обеспечили необходимую контрастность изображения и громкость звукового сопровождения, общее усиление всего приемного устройства должно быть достаточно большим. Перечисленные выше каскады зачастую не обеспечивают нужного усиления, поэтому между каскадом с заземленной сеткой и катодным повторителем приходится вводить еще один каскад, выполненный на пентоде по обычной схеме усилителя с заземленным катодом.

Схема подобного антенного усилителя, разработанного В. Чернявским, приведена на фиг. 15 *. Для повышения

* „Радио", 1953, № 8.

устойчивости работы и дополнительного уменьшения шумов в этой схеме применена компенсация действия вредной емкости «анод — сетка» первой лампы $Л_1$. Эта компенсация осуществляется путем присоединения параллельно указанной емкости компенсирующей катушки индуктивности L_3, которая настраивается с этой емкостью в резонанс на средней частоте полосы пропускания.



Фиг. 15. Схема усилителя для дальнего приема телевидения.

Во втором каскаде используется один триод лампы $Л_2$. В выходном каскаде работает лампа $Л_4$, причем оба ее триода включены параллельно. При таком включении крутизна лампы увеличивается, а выходное сопротивление катодного повторителя уменьшается вдвое, что обеспечивает лучшее согласование с кабелем РК-3, РК-1 или РК-49.

Катушки L_1 и L_2 намотаны посеребренным медным проводом диаметром 1 *мм* на полистироловом каркасе высотой 40 *мм* с наружным диаметром 24 *мм*. Внутри каркаса имеется подвижный алюминиевый сердечник длиной 30 *мм*,

Катушка L_1 из четырех витков при длине намотки 9 *мм* расположена поверх катушки L_2 из семи витков при длине намотки 17 *мм*; между ними проложен слой конденсаторной слюды толщиной 0,1 *мм*. Витки катушки L_1 закреплены на слюдяной прокладке клеем БФ-2.

Катушки L_3, L_4, L_5 и L_6 намотаны проводом ПЭШО 0,31 на каркасах диаметром 10 *мм* из любого изоляционного материала. Их индуктивность может изменяться при помощи подвижных карбонильных сердечников диаметром 8 *мм* Витки катушек также закрепляются на каркасах клеем БФ-2. Катушка L_3 состоит из 20 витков при длине намотки 8 *мм*, катушка L_4 — из 5,3 витка, L_5 — из 6,5 витка и катушка L_6 из 7,2 витка при длине намотки 7 *мм*.

Дроссель *Др* содержит 100 витков ПЭШО 0,15, намотанных на сопротивлении ВС-0,5 величиной не менее 20 *ком*.

Монтаж усилителя должен быть выполнен очень тщательно, короткими проводами. Проходные изоляторы *С* могут быть сделаны из конденсаторов типа КТК, если у них смыть ацетоном слой краски и наружную обкладку припаять легкоплавким припоем к гайке, которая ввинчивается в шасси усилителя. От внутренней обкладки конденсатора необходимо сделать второй вывод. Весь усилитель помещается в герметизированный кожух и устанавливается непосредственно у антенны (на мачте).

Питание усилителя производится от специального выпрямителя, который размещается вблизи от телевизора и соединяется с усилителем отдельным кабелем. Объединять выпрямитель с усилителем не следует, так как это увеличит уровень шумов.

Силовой трансформатор *Тр* собран на сердечнике из пластин Ш-26 × 30 *мм*. Обмотка *I* содержит 2 × 630 витков ПЭЛ-1 0,16, обмотка *II* — 2 × 900 витков ПЭЛ-1 0,14, обмотка *III* — 38 витков ПЭЛ-1 1,08 и обмотка *IV* — 60 витков ПЭЛ-1 1,08 (при длине кабеля 30 *м*). Дроссель *Др* с сердечником Ш-20 × 20 *мм* наматывается проводом ПЭЛ-1 0,31 до заполнения каркаса.

В разрыв провода накала включается амперметр. Реостатом R_1 ток накала устанавливается равным 1,4 *а*, после чего разрыв замыкается.

Для настройки усилителя к его выходу присоединяется кусок (длиной 5—10 *м*) коаксиального кабеля того же типа, который используется для соединения с телевизором. Другой конец кабеля нагружается на сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля; параллельно ему вклю-

чается высокочастотный вольтметр, способный измерять напряжение порядка 0,1 *в*. Настройка усилителя должна производиться при выходном напряжении не более 0,2 *в*, чтобы последняя лампа работала в линейном режиме.

На сетку лампы $Л_3$ подается напряжение от сигнал-генератора, и контур с катушкой L_6 настраивается по максимуму выходного напряжения на частоту 54 *мггц*. Затем сигнал-генератор присоединяется к катоду лампы $Л_2$, и контур с катушкой L_5 настраивается на частоту 51 *мггц*.

Далее сигнал-генератор присоединяется ко входу усилителя. При этом выход сигнал-генератора надо шунтировать сопротивлением такой величины, чтобы его результирующее выходное сопротивление равнялось выходному сопротивлению применяемой антенны. Нужно иметь в виду, что собственное выходное сопротивление у генератора ГСС-6 равно около 40 *ом* (на одновольтном выходе), а у СГ-1 — примерно $80 \div 100$ *ом*.

Контур с катушкой L_1 настраивается на частоту 52 *мггц*, а контур с L_2 — на 50 *мггц*. Настройка катушки L_3 производится при выключенном накале лампы $Л_1$ и при подаче на вход схемы колебаний с частотой 52 *мггц* таким образом, чтобы напряжение на выходе усилителя было минимальным.

После установки в кожух катушки должны быть подстроены (через отверстия в кожухе, запаиваемые после подстройки).

Вход приемника должен быть согласован с кабелем, идущим от антенного усилителя. При этом условии в полосе пропускания около 5 *мггц* усиление равно 50—45, а усиление на частоте канала звукового сопровождения (56, 25 *мггц*) равно 20.

Конструируя подобные усилители, надо иметь в виду, что для лучшего ослабления шумов входной контур усилителя должен иметь возможно более высокую добротность, а связь его с антенной должна быть такой, при которой соотношение сигнала и шума на выходе оказывается наиболее выгодным. Однако может случиться, что при этих условиях полоса пропускания входного контура окажется недостаточно широкой для приема телевизионных сигналов и звукового сопровождения.

Обычный способ расширения полосы пропускания, а именно — шунтирование контура активным сопротивлением, здесь использовать нельзя, так как это вызовет увеличение собственных шумов. Поэтому следует добиваться рас-

ширения полосы пропускания всего антенного усилителя путем настройки его контуров на несколько отличные частоты. Если же это не дает требуемых результатов, то для расширения полосы пропускания можно использовать отрицательную обратную связь, которая слабо влияет на величину соотношения сигнала и шума.

Такая обратная связь может быть создана путем включения сопротивления большой величины (несколько сотен килоом) между анодом и сеткой первой лампы. Точная величина сопротивления подбирается экспериментально. При этом последовательность налаживания должна быть следующей. Сначала без указанного сопротивления подбирается связь входного контура с антенной так, чтобы соотношение сигнала и шумов было наиболее выгодным. После этого сопротивление включается между анодом и сеткой и подбирается его величина при неизменной связи с антенной. Сопротивление конструктивно должно быть тонким и длинным, чтобы оно не увеличивало заметно емкость между анодом и сеткой и тем самым не нарушало устойчивую работу каскада.

В заключение заметим, что уровень собственных шумов, равно как и других помех, понижается при сокращении полосы пропускания приемника. Поэтому для дальнего приема полезно несколько сузить полосу пропускания приемника телевизора. Это ослабит помехи за счет некоторого ухудшения четкости изображения и повысит усиление приемника. Кроме того, в телевизорах, предназначаемых для дальнего приема, желательно использовать помехоустойчивые схемы синхронизации разверток с автоподстройкой.

СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Для приема радиовещания, звукового сопровождения телевидения и любительских телефонных передач на ультракоротких волнах в последнее время вновь широко применяются *сверхрегенеративные приемники.* Схемы этих приемников имеют некоторые отличия от применявшихся раньше.

Действие сверхрегенератора основано на том, что в нем создается режим прерывистого самовозбуждения, управляемого принимаемым сигналом. В этом режиме периоды нарастания колебаний чередуются с периодами их затухания. Частота, с которой повторяются нарастание и срыв колебаний, носит название *частоты дробления* или *гашения.*

При приеме высокочастотного сигнала, на частоту которого настроен контур сверхрегенератора, длительность каж-

дого нарастания колебаний зависит от амплитуды модулированного высокочастотного сигнала в тот момент, когда начинается это нарастание. Чем сильнее принимаемый сигнал, тем скорее нарастающие колебания в сверхрегенераторе достигают максимума, ограничиваемого нелинейностью характеристик лампы. В результате после детектирования колебаний сверхрегенератора на выходе приемника получается не только сверхзвуковое напряжение дробящей частоты, но и напряжение принятого звукового сигнала. Такое использование принятого высокочастотного сигнала для управления процессом нарастания колебаний, генерируемых сверхрегенератором, позволяет получать от сверхрегенератора огромное усиление и очень высокую чувствительность при большой устойчивости работы.

Из самого принципа действия сверхрегенератора следует, что он периодически отпирается и запирается со сверхзвуковой частотой. Благодаря этому сверхрегенератор воспринимает помехи лишь в некоторые моменты времени, тогда как в другие моменты он оказывается невосприимчивым к ним. Поэтому сверхрегенеративный приемник меньше подвержен действию помех, чем приемники других типов.

При точной настройке на частоту принимаемой станции сверхрегенератор может осуществлять прием сигналов с амплитудной модуляцией. Однако он может принимать и сигналы с частотной модуляцией. Для этого контур сверхрегенератора должен быть слегка расстроен относительно центральной частоты принимаемого сигнала. В таком режиме частота принимаемых колебаний попадает на наклонный участок резонансной кривой контура. При изменениях частоты колебаний в соответствии с частотной модуляцией рабочая точка перемещается по наклонному участку резонансной кривой контура и амплитуда напряжения на контуре изменяется в соответствии с колебаниями частоты. Таким образом, возникает амплитудная модуляция, которая затем детектируется сверхрегенератором точно так же, как и в случае непосредственного приема сигналов с амплитудной модуляцией.

Понятно, что для получения достаточно сильных изменений амплитуды при колебаниях частоты наклонная часть резонансной кривой должна быть достаточно крутой. Это требует применения контуров с высокой добротностью.

Интересной особенностью большинства приемников сверхрегенеративного типа является их свойство осуществлять автоматическую регулировку громкости приема вслед-

ствие того, что их выходное напряжение связано со входным напряжением логарифмической зависимостью. Однако это же обстоятельство приводит к нелинейным искажениям, при глубокой модуляции принимаемых сигналов.

Существенными недостатками сверхрегенератора являются низкая избирательность и наличие излучения, создающего помехи другим приемникам. Низкая избирательность сверхрегенератора позволяет использовать его главным образом на ультракоротких волнах, где требования к избирательности могут быть не очень жесткими вследствие небольшого числа станций и ограниченной дальности их действия. Надо заметить, что плохая избирательность и соответственно широкая полоса пропускания сверхрегенератора во многих случаях оказываются в известном смысле достоинствами, так как они обеспечивают устойчивость приема, несмотря на самопроизвольные изменения частоты любительских приемников и передатчиков, имеющих невысокую стабильность.

Качество работы сверхрегенератора в сильной степени зависит от выбора частоты дробления. Дело в том, что сверхрегенератор не производит непрерывного усиления принимаемого сигнала. Как следует из самого принципа действия, сверхрегенератор реагирует лишь на отдельные значения сигнала, которые соответствуют моментам начала нарастания колебаний в схеме. Для того чтобы при этом не возникали искажения принимаемого звукового сигнала, необходимо, чтобы за период высшей частоты модуляции происходило не менее четырех-пяти нарастаний и срывов колебаний. Это означает, что частота дробления должна минимум в 4—5 раз превышать высшую частоту модуляции. Такое соотношение этих частот необходимо еще и затем, чтобы на выходе приемника звуковое напряжение можно было отделить от напряжения частоты дробления.

С другой стороны, надо иметь в виду, что повышение частоты дробления до известных пределов улучшает чувствительность сверхрегенератора, однако при этом ухудшается его избирательность. Кроме того, для нормального действия сверхрегенератора необходимо, чтобы за каждый цикл нарастания колебания успевали достичь максимума, определяемого нелинейностью характеристик лампы. Для этого необходимо, чтобы каждому периоду частоты дробления соответствовало не менее 10—12 периодов высокочастотного принимаемого сигнала. Это означает, что частота прини-

маемых сигналов должна быть минимум в 10—12 раз выше, чем частота дробления.

Все эти соображения приводят к выводу, что наиболее удобно использовать сверхрегенератор для приема ультракоротких и отчасти коротких волн. Этот вывод соответствует тому, который был сделан выше на основании плохой избирательности сверхрегенератора.

Возбуждение и срыв колебаний в схеме сверхрегенератора осуществляются путем подачи на сетку его лампы особого «дробящего» напряжения, которое периодически отпирает и запирает эту лампу. Кроме частоты этого дробящего напряжения, важную роль играет также его форма, так как всегда желательно, чтобы переходы от запертого состояния лампы к отпертому и обратно происходили возможно более быстро.

В любительской практике наибольшим распространением пользуются схемы с так называемым *самогашением*. В этих схемах дробящее напряжение на сетке лампы создается не при помощи специального генератора, а за счет процессов заряда сеточными токами лампы и разряда параллельно соединенных сопротивления и емкости в цепи управляющей сетки лампы, причем сопротивление утечки сетки соединяется с катодом. Достоинством таких схем является их простота, однако работают они недостаточно надежно из-за трудности получения дробящего напряжения наиболее выгодной частоты и формы.

Заметно лучшие результаты дают схемы, в которых дробящее напряжение создается тем же способом, но при соединении управляющей сетки лампы с положительным полюсом анодного напряжения через сопротивление в 7—12 *мгом.*

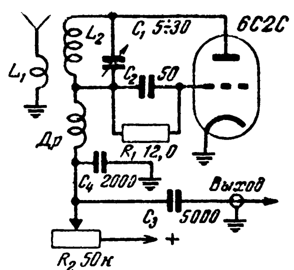
Типичная схема такого приемника, построенного лабораторией Центрального радиоклуба ДОСААФ, приведена на фиг. 16 *. Может показаться, что в такой схеме самовозбуждение колебаний невозможно, так как контур здесь включен между анодом и сеткой лампы, но цепь обратной связи в явном виде отсутствует. Однако, если учесть наличие междуэлектродных емкостей лампы между анодом — катодом и сеткой — катодом, то нетрудно видеть, что последовательное соединение этих емкостей включено параллельно контуру, а катод лампы присоединен к средней точке этих двух емкостей. Таким образом, образуется обычная

---

* „Радио“, 1950, № 8.

схема самовозбуждающегося генератора с емкостной обратной связью.

Выход этой схемы соединяется с гнездами «звукосниматель» радиовещательного приемника, который используется в качестве усилителя колебаний звуковых частот. Питание сверхрегенератора можно осуществлять от этого же приемника, для чего выходная лампа приемника вставляется в свою панель посредством специальной переходной колодки, имеющей выводы от штырьков накала, высокого напряжения и шасси, к которым и присоединяются провода питания сверхрегенератора. При данных, указанных на схеме, сверхрегенератор перекрывает диапазон от 36 до 75 *мггц*.



Фиг. 16. Схема сверхрегенератора с самогашением.

Катушка L_2 бескаркасная, состоит из семи витков провода диаметром 1,5 *мм*; диаметр катушки 15 *мм*, расстояние между витками 1,5 *мм*. Катушка L_1 содержит $^3/_4$ витка провода диаметром 1,5 *мм*. Расстояние между катушками L_1 и L_2 подбирается опытным путем. Дроссель *Др* состоит из 100 витков провода ПШД 0,2, намотанных вплотную на сопротивлении ВС-0,5, очищенном от проводящего слоя.

Вместо триода 6С2С в этой схеме можно использовать лампу 6Ж3П в триодном включении. При этом сопротивление R_2 должно иметь величину 2,5 *мгом*.

Налаживание такой схемы, как и всех сверхрегенераторов, несложно. После включения схемы вращением ручки переменного сопротивления R_2 надо добиться возникновения сверхрегенерации, наличие которой обнаруживается по характерному шипению в громкоговорителе. Затем надо проверить, возникает ли сверхрегенерация во всем диапазоне настроек. Если в какой-либо точке диапазона сверхрегенерация не возникает, то нужно изменить число витков дросселя или емкость конденсатора C_4. Полезно также в этом случае изменить величины C_2 и R_1. При настройке на частоту станции шум сверхрегенерации пропадает и появляется сигнал. При приеме слабых сигналов необходимо тщательно подобрать величину связи с антенной, добиваясь наибольшей громкости.

Еще лучшие результаты могут быть получены от схем сверхрегенераторов, в которых дробящее напряжение создается специальным генератором.

На фиг. 17 изображена схема [1], в которой одна и та же

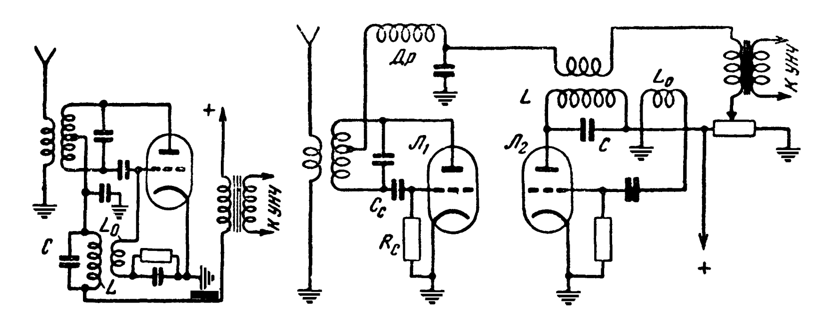
---

[1] „Радио", 1952, № 1.

лампа используется как в схеме самого сверхрегенератора, так и в схеме генератора дробящего напряжения. Последний состоит из лампы, контура LC и катушки обратной связи L_o.

На фиг. 18 приведена схема [1], в которой для генерирования дробящего напряжения используется отдельная лампа $Л_2$. За счет некоторого усложнения такая схема дает наибольшие возможности для подбора выгодного режима работы сверхрегенератора.

Недостатком рассмотренных однокаскадных сверхрегенераторов является наличие излучения, создающего помехи другим приемникам. Другим недостатком является сильное



Фиг. 17. Схема сверхрегенератора со специальным генератором.

Фиг. 18. Схема регенератора с отдельным генератором дробящего напряжения.

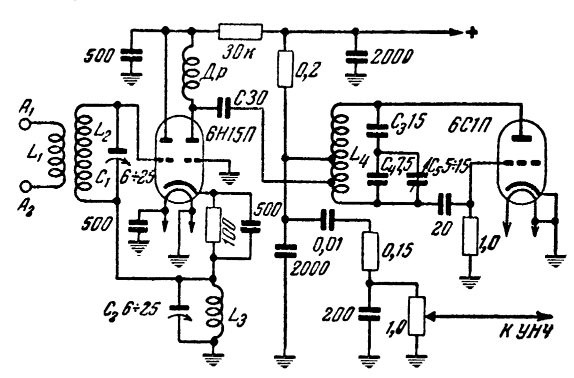
влияние антенны на настройку контура сверхрегенератора, что оказывается особенно неприятным при установке приемника на автомашине, мотоцикле и других подвижных объектах. В этих условиях при движении возле дёревьев, зданий и других сооружений параметры антенны заметно изменяются, вследствие чего контур приемника резко расстраивается и прием делается невозможным.

Для устранения обоих этих недостатков необходимо между антенной и сверхрегенеративным каскадом использовать один или несколько каскадов усиления радиочастотных колебаний. При этом основным требованием, предъявляемым к такому усилителю, является минимальная величина паразитной связи антенны с контуром сверхрегенератсра, а также ослабление собственных шумов.

Интересная схема такого приемника, разработанная

[1] „Радио“, 1952, № 1.

В. Чернявским[1], приведена на фиг. 19. В этом приемнике между антенной и сверхрегенеративным каскадом имеются два каскада усиления радиочастотных колебаний, в которых используется двойной триод типа 6Н15П. Первый каскад усиления радиочастоты выполнен по схеме с общим катодом; его нагрузкой служит контур C_2L_3, включенный в цепь катода. Второй каскад собран по схеме с заземленной сеткой; его нагрузкой является контур сверхрегенератора $L_4C_3C_4C_5$, включенный в анодную цепь правого триода по схеме параллельного питания посредством дросселя *Др* и конденсатора *С*.



Фиг. 19. Схема любительского связного сверхрегенеративного приемника ультракоротких волн с каскадами усиления радиочастоты.

Такая схема усилителя радиочастотных колебаний обеспечивает слабую паразитную связь сверхрегенератора с антенной. Благодаря использованию триодов в схеме этого усилителя его собственные шумы невелики.

Как было показано выше, сочетание каскадов с общим катодом и с общей сеткой на триодах является наиболее выгодной схемой входа приемника.

В сверхрегенеративном каскаде используется лампа типа 6С1П, хорошо работающая в таких схемах.

Для работы в любительском ультракоротковолновом диапазоне катушка L_1 должна иметь 2,75 витка с длиной намотки 8 *мм*, катушки L_2 и L_3 — по 5 витков с длиной намотки по 30 *мм*, катушка L_4 — 5,25 витка с длиной намотки 25 *мм* (отводы сделаны от 3-го витка и от 4,25-го витка,

[1] „Радио", 1951, № 3.

считая от анодного конца катушки). Все катушки наматываются медным посеребренным проводом диаметром 2 *мм* на болванке диаметром 14 *мм*. Дроссель *Др* имеет 40 витков ПЭЛ 0,25, намотанных на сопротивлении ВС-0,5 величиной не менее 100 *ком*.

Контуры L_2C_1 и L_3C_2 имеют фиксированную настройку на среднюю частоту диапазона. Настройка приемника производится путем изменения емкости конденсатора C_5 контура сверхрегенератора.

СУПЕРГЕТЕРОДИНЫ СО СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНЫМИ КАСКАДАМИ

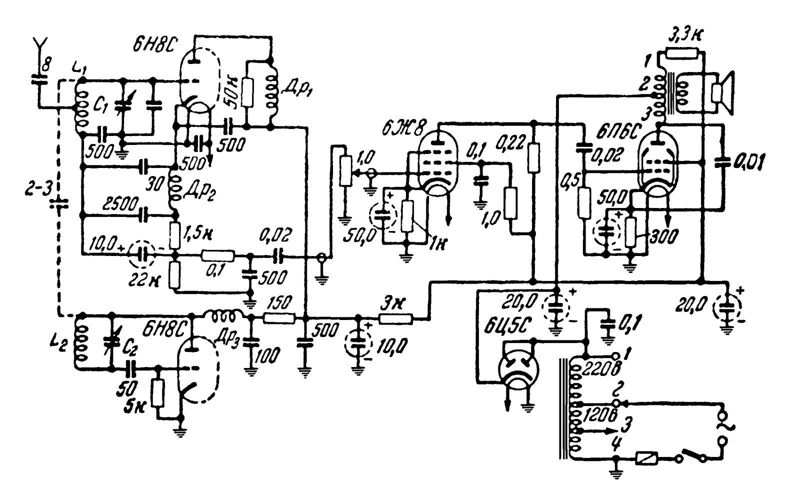
Хорошие результаты приема на ультракоротких волнах дают схемы супергетеродинов, в которых в качестве усилителя колебаний промежуточной частоты и детектора используются сверхрегенеративные каскады.

Если перед обычным сверхрегенератором поставить преобразователь частоты, то при настройке приемника на различные частоты сверхрегенератор будет работать на постоянной промежуточной частоте. Это позволяет сделать его режим более стабильным. Выбирая промежуточную частоту заметно ниже частоты сигнала, в такой схеме можно получить у сверхрегенератора более узкую полосу пропускания, т. е. лучшую избирательность по сравнению с той, какую он имел бы, если бы работал на частоте сигнала. Таким образом, удается в известной степени ослабить основной недостаток сверхрегенератора — его плохую избирательность. Кроме того, наличие преобразователя уменьшает излучение сверхрегенератора, т. е. ослабляет создаваемые им помехи и уменьшает влияние антенны на настройку контура сверхрегенератора.

Как уже говорилось выше, прием сигналов с частотной модуляцией возможен на сверхрегенератор, работающий с расстройкой контура. При этом для получения достаточно сильных изменений амплитуды при колебаниях частоты наклонная часть резонансной кривой должна быть крутой. Если сверхрегенератор работает непосредственно на радиочастоте сигнала, то его разонансная кривая оказывается широкой и отлогой. Используя супергетеродинный преобразователь частоты и заставляя сверхрегенератор работать на более низкой промежуточной частоте, можно сузить его резонансную кривую и сделать ее боковые участки более крутыми.

В большинстве случаев преобразователь частоты в таких приемниках выполняется по обычным схемам, а сверхрегенератор строится по одной из схем, приведенных выше.

На фиг. 20 изображена схема ультракоротковолнового супергетеродина со сверхрегенеративным каскадом промежуточной частоты[1]. Эта схема замечательна тем, что в ее высокочастотной части используется лишь одна лампа — двойной триод 6Н8С. Один триод этой лампы (изображен отдельно внизу) работает в схеме гетеродина с емкостной



Фиг. 20. Схема сверхрегенеративного супергетеродина.

обратной связью, причем обратная связь создается распределенными емкостями монтажа и лампы. Второй триод используется в качестве преобразователя частоты и, кроме того, он же работает в сверхрегенеративном каскаде промежуточной частоты. Таким образом, высокочастотная часть схемы представляет собой супергетеродин на одной лампе. Вместо фильтра промежуточной частоты здесь используется дроссель $Др_1$, который служит одновременно анодной нагрузкой сверхрегенератора.

Такая схема обладает чувствительностью порядка 100 *мкв*. Она может применяться в качестве приемника звукового сопровождения телевидения или для приема радио-

---

[1] „Радио", 1950, № 11.

вещания с частотной модуляцией. Простота этой схемы позволяет использовать ее в качестве дополнения к обычным радиовещательным приемникам. Кроме того, она может найти применение в различных ультракоротковолновых передвижках, работающих как с амплитудной, так и с частотной модуляцией.

Дроссель $Др_1$ содержит 20 витков ПЭЛ 0,3 (намотаны на сопротивлении ВС-0,5 в 50 *ком*), а дроссели $Др_2$ и $Др_3$ — по 45 витков ПЭШО 0,15 (намотаны на сопротивлениях ВС-0,5 величиной не менее 1 *мгом*). Катушки — бескаркасные из провода ПЭ 1,5. Для приема звукового сопровождения телевидения диаметр катушек равен 15 *мм*. Катушка L_1 содержит шесть витков с отводом от 3-го витка, а L_2 — пять витков.

В качестве конденсаторов настройки используются небольшие воздушные подстроечные конденсаторы, имеющие три подвижные и четыре неподвижные пластины. Для получения сопряжения в конденсаторе C_2 гетеродина оставлены одна подвижная и две неподвижные пластины, а в конденсаторе C_1 — две подвижные и три неподвижные пластины. При этом приемник перекрывает диапазон от 45 до 58 *мггц*.

Автотрансформатор собран на сердечнике Ш-30 × 16 *мм*. Обмотка от точки *1* до точки *2* содержит 744 витка ПЭЛ 0,25, от точки *2* до точки *3*—964 витка ПЭЛ 0,38 и от точки *3* до точки *4*—58 витков ПЭЛ 0,8. Выходной трансформатор собран на сердечнике Ш—15 × 15 *мм*. Первичная обмотка имеет от точки *1* до точки *2* 150 витков ПЭЛ 0,1 и от точки *2* до точки *3* — 2 850 витков ПЭЛ 0,1. Вторичная обмотка состоит из 60 витков ПЭЛ 0,64.

Налаживание приемника несложно. При правильной сборке приемник после включения антенны должен давать характерный шум сверхрегенерации. Наличие генерации гетеродина проверяется путем замыкания пластин конденсатора гетеродина, при этом шум сверхрегенерации должен усиливаться. Далее, приняв станцию, надо добиться полного подавления шума сверхрегенерации путем настройки контура L_1C_1. После этого необходимо обычным способом отрегулировать сопряжение контуров. Для облегчения начальной регулировки полезно настраивать конденсаторы C_1 и C_2 сначала порознь и лишь затем объединить их настройку на общей оси.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАСКАДОВ

Рассмотрим схемы отдельных элементов высокочастотного тракта приемника.

СПОСОБЫ НАСТРОЙКИ КОНТУРОВ

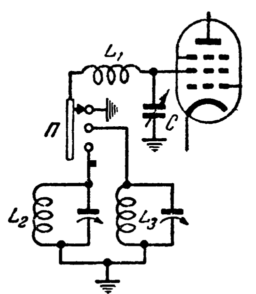
Резонансная частота контура определяется известным соотношением

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

откуда

$$LC = \frac{1}{4\pi^2 f^2}.$$

Емкость C контура складывается из емкости конденсатора настройки и из так называемой емкости схемы, в которую входят распределенная емкость катушки, емкости подстроечных конденсаторов, монтажа, переключателя, а также емкости ламп, присоединенных к контуру.



Фиг. 21. Схема включения катушки коротковолнового диапазона.

При данной катушке наиболее высокая частота диапазона определяется минимальной емкостью конденсатора настройки и емкостью схемы. В диапазонах коротких и ультракоротких волн всеволновых приемников обычно бывает желательно обеспечить настройку на достаточно высокие частоты. Для этого следует уменьшать величину емкости схемы и величину начальной емкости конденсатора настройки. Один из способов уменьшения емкости схемы показан на фиг. 21. При этом способе катушка L_1 контура коротких волн включается в разрыв провода, соединяющего переключатель $П$ катушек с конденсатором переменной емкости C. В диапазонах длинных и средних волн присутствие этой катушки в контуре практически не оказывает влияния на работу приемника, так как сопротивление коротковолновой катушки на низких радиочастотах очень мало. В диапазоне коротких волн один конец катушки заземляется, и она образует с конденсатором переменной емкости обычный контур. При такой схеме включения переключатель оказывается присоединенным к заземм-

ленному концу катушки и его емкость не входит в контур коротких волн.

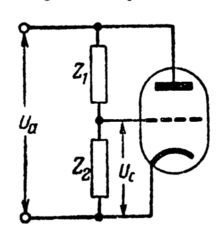
Стремясь до предела уменьшить величину емкости контура и получить возможно большее отношение $\frac{L}{C}$ во всем диапазоне, в последнее время в приемниках ультракоротких волн широко применяют настройку индуктивностью. При таком способе настройки в контур входит лишь емкость схемы, а конденсатор переменной емкости из схемы исключается. Индуктивность катушек изменяется либо путем вдвигания в катушки медных, латунных или алюминиевых сердечников, либо путем введения между витками катушек медных или латунных заземленных поворотных ножей.

Способ настройки индуктивностью иногда применяется и в контурах длинных, средних и коротких волн. В этом случае индуктивность изменяется посредством вдвигания в катушки сердечников, сделанных из магнитодиэлектрика (магнетита, карбонильного железа и т. п.). В заводских приемниках для обеспечения одноручечной настройки используются специальные блоки катушек, настраиваемых такими сердечниками. В любительских условиях изготовление этих блоков представляет известные затруднения, и настройка сердечниками применяется иначе.

В простейшем случае используется сердечник, который вдвигается в катушку контура гетеродина приемника посредством винта, вращаемого отдельной ручкой. Ручка позволяет плавно изменять частоту гетеродина и тем самым плавно изменять настройку приемника, т. е. осуществлять растяжку диапазона. Грубая настройка производится обычным блоком конденсаторов переменной емкости. Поскольку ручка точной настройки изменяет лишь частоту гетеродина и не изменяет настройки контуров преселектора, последние должны иметь достаточно широкую полосу пропускания, в пределах которой только и может осуществляться такая точная настройка. При переключениях диапазонов катушка с подвижным сердечником остается в контуре гетеродина и последовательно с ней включаются различные дополнительные катушки. При всей своей простоте такое устройство очень облегчает настройку приемника на коротких волнах, делая ненужным применение обычно используемых сложных схем растяжки диапазонов.

В рассмотренных выше приемниках с ненастраивающимися преселекторами указанное устройство можно использовать в качестве единственного органа настройки, совер-

шенно отказавшись от конденсатора переменной емкости. При этом могут возникнуть затруднения в перекрытии широкого диапазона длинных и средних волн, так как сердечник из магнитодиэлектрика способен создавать лишь ограниченные изменения частоты гетеродина. Однако это затруднение легко разрешается путем повышения промежуточной частоты. Действительно, выше мы уже видели, что при промежуточной частоте в 1,9 *мггц* для перекрытия объединенного диапазона длинных и средних волн частоту гетеродина приходится изменять лишь в 1,7 раза. Эта величина может быть еще уменьшена при повышении промежуточной частоты до 4—5 *мггц*. Таким образом, можно построить приемник, обладающий объединенным диапазоном длинных и средних волн, а также узкими диапазонами коротких волн с единственным органом настройки в виде ввинчивающегося в катушку сердечника. Недостатки, создаваемые использованием высокой промежуточной частоты, можно устранить, применяя обратную связь в тракте промежуточной частоты или двойное преобразование частоты.



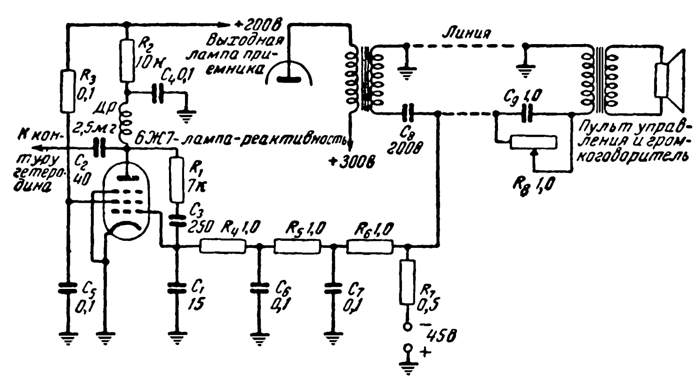
Фиг. 22. Упрощенная схема лампы реактивности.

В приемниках с двойным преобразованием частоты подвижной сердечник можно также использовать для изменений частоты второго гетеродина с целью растяжки диапазона.

Выше была выяснена возможность перестраивать приемник в пределах полосы пропускания преселектора лишь путем изменения частоты гетеродина. Это позволяет осуществить систему электрической настройки приемника, представляющую особенный интерес в тех случаях, когда бывает необходимо производить настройку, находясь на некотором расстоянии от приемника.

Основной частью системы является так называемая лампа-реактивность. Этим названием обозначают особую схему включения усилительной лампы, которая в упрощенном виде изображена на фиг. 22. Здесь к аноду и катоду лампы приложено переменное напряжение U_a высокой частоты. Напряжение на сетку лампы подается из анодной цепи посредством специальной цепи Z_1Z_2. Эта цепь составляется из сопротивлений и конденсаторов (иногда — еще из индуктивностей), величины которых подобраны таким образом, что напряжение U_c на сетке

оказывается сдвинутым по фазе относительно напряжения U_a на аноде на угол $\pm 90^\circ$. Переменная составляющая анодного тока лампы находится почти точно в фазе с сеточным напряжением U_c и тоже оказывается сдвинутой по фазе относительно анодного напряжения U_a на $\pm 90^\circ$. Таким образом, между точками *а* и *б* действует напряжение U_a и течет ток I_a, сдвинутый по фазе относительно напряжения на угол $\pm 90^\circ$. Следовательно, эта схема ведет себя совершенно так же, как емкость или индуктивность.



Фиг. 23. Полная схема дистанционного управления настройкой приемника.

Величина анодного тока, а тем самым и величина отношения $\frac{U_a}{I_a}$ зависят от крутизны лампы. Это означает, что, изменяя крутизну лампы путем изменения напряжения смещения, можно регулировать величину получаемой емкости или индуктивности. Если такую схему присоединить к контуру гетеродина, то, изменяя напряжение смещения на сетке лампы-реактивности, можно будет изменять частоту гетеродина, т. е. в известных пределах регулировать настройку приемника.

Полная схема такого устройства изображена на фиг. 23. В этой схеме напряжение смещения, посредством которого меняется настройка приемника, регулируется потенциометром R_7R_8. Для дистанционной подачи напряжения смещения на лампу-реактивность используется та же линия, которая соединяет громкоговоритель с выходом приемника.

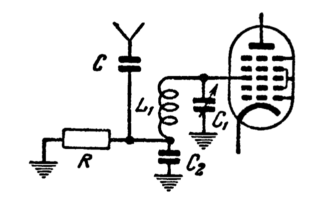
Конденсаторы C_1C_3 и сопротивление R_1 образуют цепь, обозначенную на фиг. 22 буквами Z_1Z_2. Сопротивления

R_4, R_5R_6 и конденсаторы C_6C_7 образуют развязывающие фильтры в цепи смещения. Остальные элементы схемы являются обычными.

ВХОДНЫЕ ЦЕПИ

В настоящее время наиболее часто применяются схемы входных цепей, в которых антенна присоединяется к входному контуру либо через небольшую емкость, либо через трансформатор.

Емкостная связь контура с антенной обладает существенным недостатком. Коэффициент усиления такой схемы резко изменяется при настройке приемника на различные частоты диапазона.



Фиг. 24. Схема входа приемника в диапазоне длинных волн.

В схеме трансформаторной связи с антенной, кроме настраивающегося входного контура приемника, имеется еще один контур, образуемый емкостью и индуктивностью антенны, а также антенной катушкой. Этот контур имеет собственную резонансную частоту, которую можно изменять, выбирая ту или другую величину индуктивности антенной катушки и включая в этот контур дополнительные конденсаторы. Усиление такой схемы будет почти постоянным в пределах диапазона, если резонансная частота антенного контура лежит ниже самой низкой частоты диапазона принимаемых частот. Именно так и настраивается обычно антенный контур.

В приемниках, имеющих промежуточную частоту 110 *кгц*, использовать такую схему в диапазоне длинных волн, низшая частота которого составляет 150 *кгц*, нельзя. В этом диапазоне контур антенны пришлось бы настраивать на частоту, лежащую ниже частоты 150 *кгц*, т. е. 100—120 *кгц*. Но промежуточная частота этих приемников равна 110 *кгц* и, следовательно, контур антенны оказался бы при этом настроенным на промежуточную частоту, что могло бы вызвать самовозбуждение приемника и сильные помехи.

Поэтому в диапазоне длинных волн используется схема входа, показанная на фиг. 24. В ней настраивающийся контур образуется катушкой L_1, конденсатором переменной емкости C_1 и конденсатором C_2, к которому присоединена антенна. Конденсатор C является защитным и служит для

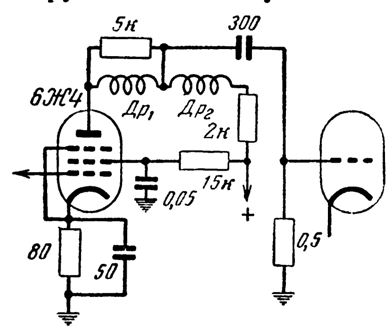
изоляции антенны от сети переменного тока (опасность соединения антенны с сетью создается применением в этих приемниках схемы питания с автотрансформатором). На работу высокочастотной части схемы этот конденсатор не оказывает влияния.

Такое устройство входа приемника при правильном выборе величин деталей обеспечивает постоянство усиления в диапазоне и в то же время устраняет цепь, настроенную на промежуточную частоту.

Сопротивление R поставлено в этой схеме для того, чтобы ослабить влияние низкочастотных напряжений, наводимых в антенне осветительными, телефонными и тому подобными линиями.

НЕНАСТРАИВАЕМЫЕ УСИЛИТЕЛИ РАДИОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Усилители радиочастотных колебаний с ненастраиваемой нагрузкой заметно увеличивают чувствительность приемника, не давая, однако, дополнительной избирательности. Их достоинством является простота конструкции (введение такого усилительного каскада в схему приемника не требует использования дополнительных катушек, дополнительных секций блока конденсаторов переменной емкости и переключателя).



Фиг. 25. Схема ненастраиваемого усилителя радиочастотных колебаний.

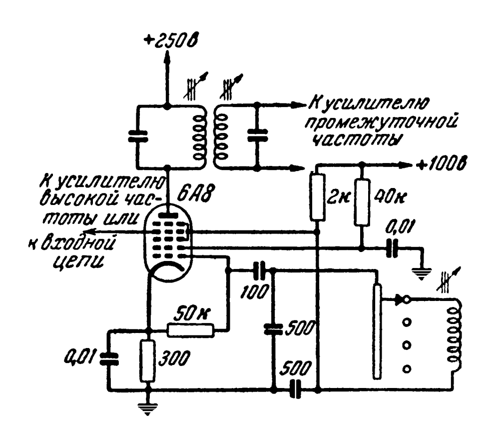
Дроссель $Др_1$ намотан „внавал" на сопротивлении ВС-0,5-5 *ком* и имеет 80 витков ПЭШО 0,15. Дроссель $Др_2$ имеет 60 витков ПЭШО 0,15 и намотан на сопротивлении ВС-0,25 0,2 *мгом*.

Ненастраивающиеся усилители дают заметный эффект только в том случае, если в них используются лампы с высокой крутизной, например типа 6Ж4. Для достижения равномерного усиления в широком диапазоне частот анодная цепь усилителя должна быть выполнена по схеме, изображенной на фиг. 25. Эта схема удовлетворительно работает на частотах 0,1 ÷ 20 *мггц*.

ГЕТЕРОДИНЫ

Рассмотрим теперь новые схемы гетеродинов приемников. Их появилось в последние годы довольно много, и все они

позволяют заметно упростить конструкцию катушек и переключателей благодаря тому, что не требуют переключения цепей обратной связи. Кроме того, большинство этих схем при хорошем выполнении может обеспечить несколько более высокую стабильность частоты и постоянство амплитуды



Фиг. 26. Схема гетеродина с емкостной обратной связью и с упрощенным переключением фиксированных настроек.

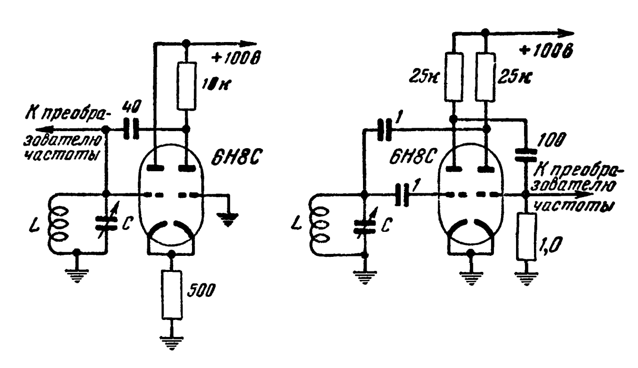
колебаний, чем обычно применяемые схемы с трансформаторной или автотрансформаторной обратной связью.

В приемниках с фиксированными настройками удобно применять гетеродины, собранные по трехточечной схеме с емкостной обратной связью (фиг. 26). В этом случае при переключении фиксированных настроек в схему гетеродина достаточно включать различные катушки, заранее настроенные сердечниками из магнитодиэлектрика на выбранные частоты. Цепь обратной связи, образуемая конденсаторами в 500 *пф*, при этом не требует никаких переключений.

Широкое применение получили также гетеродины, в которых для возбуждения колебаний параллельно контуру присоединяются различные ламповые схемы, создающие так называемое *отрицательное сопротивление.*

Отрицательные сопротивления создают устройства, обладающие падающей вольтамперной характеристикой. Это означает, что при включении такого устройства в какую-либо цепь увеличение тока в этой цепи будет вызывать уменьшение падения напряжения на отрицательном сопротивле-

нии, и наоборот. На обычном положительном сопротивлении увеличение тока вызывает увеличение падения напряжения; такое сопротивление, как известно, потребляет из цепи определенную энергию. Напротив, противоположные изменения величины тока и падения напряжения на отрицательном сопротивлении свидетельствуют о том, что отрицательное сопротивление не потребляет энергию из цепи, в которую оно включено, а наоборот, само вносит энергию в эту цепь. Поэтому отрицательное сопротивление, каким бы способом оно ни создавалось, обязательно должно содержать в своем составе источник энергии. Обычно отрицательное сопротив-



Фиг. 27. Схемы гетеродинов с двойным триодом.

ление представляет собой ту или иную ламповую схему, которая получает энергию от своих источников питания.

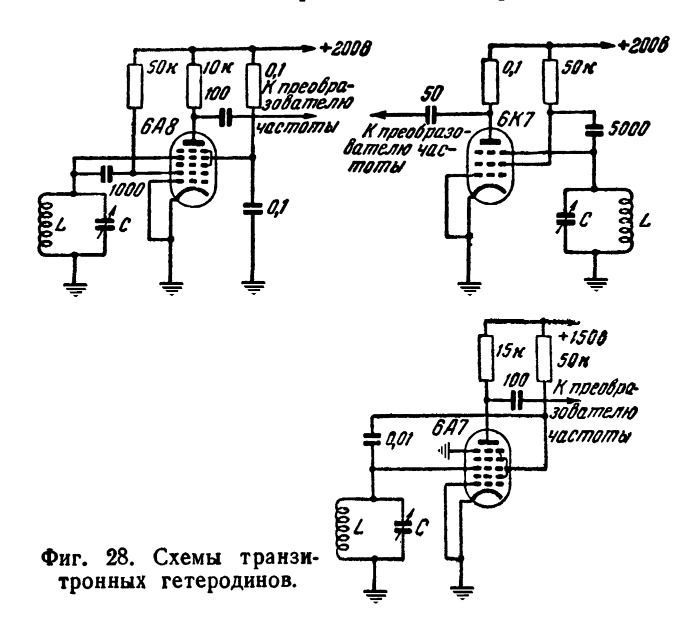
Если такое отрицательное сопротивление присоединить параллельно контуру, то при определенных условиях вносимая им в контур энергия сможет обеспечить компенсацию потерь в контуре. В этом случае возникшие первоначально в контуре колебания не будут затухать, как обычно, а будут продолжаться все время, пока будет включено отрицательное сопротивление, т. е. в схеме возникнет самовозбуждение.

Отметим здесь кстати, что обычные схемы гетеродинов с положительной обратной связью тоже можно рассматривать как устройства, вносящие в контур отрицательное сопротивление.

Хорошо себя зарекомендовали схемы гетеродинов, в которых отрицательное сопротивление создается особым включением двойного триода. Эти схемы изображены на фиг. 27. Они устойчиво работают во всем диапазоне используемых любителями частот, вплоть до самых высоких.

Другой разновидностью гетеродинов с отрицательным сопротивлением являются *транзитронные схемы*, в которых отрицательное сопротивление создается лампой, поставленной в особый режим. В любительской практике широкое применение находят гетеродины, выполненные на лампах 6А8, 6К7 (или 6К3) и 6А7 по транзитронным схемам, изображенным на фиг. 28.

Интересная особенность транзитронных схем состоит в том, что, изменяя напряжение на первой сетке лампы,



Фиг. 28. Схемы транзитронных гетеродинов.

обычно не используемой в схеме гетеродина, можно менять частоту генерируемых колебаний в пределах $4 \div 5\%$. Эта особенность транзитронных генераторов иногда может с успехом использоваться для создания схем автоматической подстройки частоты и дистанционного управления настройкой приемника, не содержащих специальной лампы-реактивности.

Все приведенные схемы гетеродинов могут обеспечить высокую стабильность частоты генерируемых колебаний, устойчивость их амплитуды и малое содержание гармоник. Однако реализация этих достоинств в большой степени зависит от конструктивного выполнения гетеродина и в первую очередь от конструкции его колебательного контура. Контур

гетеродина должен обладать возможно меньшими потерями, для чего катушка контура должна быть намотана достаточно толстым проводом на каркасе из хорошего диэлектрика. Емкость контура гетеродина не следует брать слишком малой, так как это ухудшает стабильность частоты. Гетеродин надо помещать достаточно далеко от нагревающихся частей приемника, чтобы ослабить влияние нагрева деталей гетеродина на его частоту. В частности, сильно влияет на частоту колебаний нагрев пластмассовой ламповой панели гетеродина, поэтому следует использовать керамические панели. С той же целью ослабления нагрева рекомендуется понижать напряжение питания гетеродина до 80—150 *в*. Наконец, всегда желательно осуществлять возможно более полную экранировку не только контура гетеродина, но и всех его деталей, включая и лампу, если она имеет стеклянный баллон. Цепи питания гетеродина следует тщательно развязывать посредством фильтров. Все эти мероприятия особенно важны в приемниках с двойным преобразованием частоты.

Заметное улучшение стабильности частоты гетеродина достигается также при питании его высоким напряжением от газоразрядного стабилизатора. В качестве такого стабилизатора можно с успехом использовать сигнальную неоновую лампочку с потенциалом зажигания в 70—120 *в*.

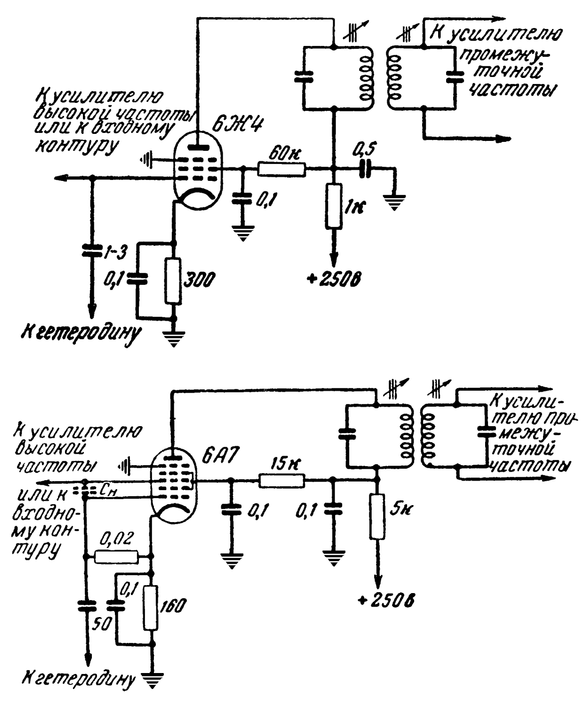
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Как известно, наилучшие результаты дает преобразование частоты, осуществляемое посредством двух различных ламп, одна из которых работает в схеме гетеродина, а другая используется в качестве смесителя.

На фиг. 29 приведены две схемы смесительных каскадов. Очень хорошо работает в качестве смесителя пентод типа 6Ж4, крутизна преобразования которого составляет 3 *ма/в*. При использовании этой лампы усиление смесительного каскада оказывается в 5 ÷ 8 раз больше, чем усиление каскадов на специальных смесительных лампах. В схеме с лампой 6Ж4 напряжение гетеродина подается на управляющую сетку лампы вместе с напряжением сигнала. Поскольку необходимое напряжение гетеродина на сетке составляет всего 2 ÷ 3 *в*, гетеродин можно соединять с сеткой смесителя через конденсатор емкостью в 1 ÷ 3 *пф*. Столь малая величина емкости обеспечивает очень слабую связь контуров гетеродина и сигнала, что важно для хорошей работы смесителя. Конденсатор такой емкости представляет собой два скрученных вместе изолированных проводника. При налажи-

вании приемника следует подобрать наивыгоднейшую величину этой емкости, изменяя длину скрученных кусков провода и толщину их изоляции. Смесители такого типа хорошо работают во всех диапазонах используемых любителями частот.

Широкое применение в качестве смесителей находят также лампы 6А7 и 1А1П. Изображенный на схеме (фиг. 29)

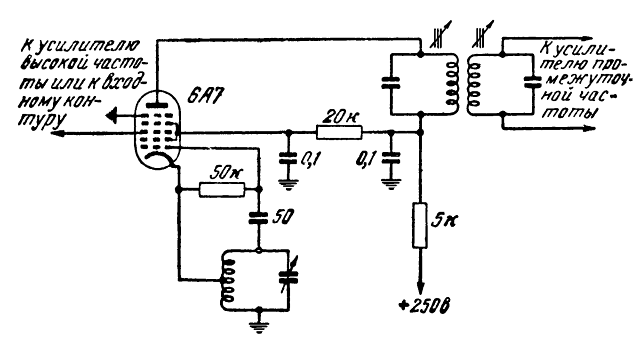


Фиг. 29. Схемы смесителей.

пунктиром конденсатор $C_н$ иногда может оказаться необходимым для нейтрализации связи контуров сигнала и гетеродина, которая создается пространственным зарядом внутри лампы и снижает усиление смесителя. Этот конденсатор тоже представляет собой два свитых вместе изолированных провода; необходимость и величина его выясняются экспериментально при налаживании схемы.

В диапазоне ультракоротких волн в качестве смесителей широко используются триоды; примеры таких схем были рассмотрены выше.

Среди схем преобразовательных каскадов, в которых одна и та же лампа используется как в качестве гетеродинной, так и в качестве смесительной, необходимо прежде всего остановиться на схемах включения ламп типа 6А7, 6А10С и 1А1П. В этих лампах анодом гетеродина служит экранная сетка, которая заземляется по высокой частоте через конденсатор большой емкости. Гетеродин при этом выполняется по схеме с трехточечной индуктивной обратной связью и заземленным «анодом» (фиг. 30). При таком включении эти лампы дают более высокое усиление и лучшую стабильность частоты гетеродина, чем аналогичные более



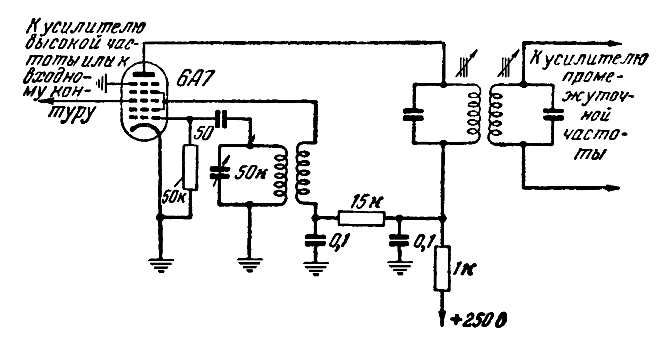
Фиг. 30. Схема преобразовательного каскада.

старые лампы 6А8 и СО-242. Надо только иметь в виду, что указанные лампы наилучшим образом работают при вполне определенной величине напряжения гетеродина; отклонения от этой величины резко ухудшают работу преобразователя. Для ламп 6А7 и 6А10С оптимальным является напряжение гетеродина в 1,4 *в* между катодом и «землей».

Схема, изображенная на фиг. 30, в случае применения подогревных ламп 6А7 или 6А10С обладает одним недостатком, который проявляется особенно заметно в коротковолновых приемниках, предназначенных для работы на головной телефон. Этот недостаток состоит в том, что катод лампы не заземляется, а присоединяется к отводу катушки и имеет некоторый потенциал высокой частоты относительно «земли». При таких условиях переменное напряжение накала может модулировать принимаемые колебания, в результате чего в телефонах будет слышен фон переменного тока, мешающий приему.

Для борьбы с этим явлением необходимо заземлять катод преобразовательной лампы, что можно сделать, используя в гетеродине трансформаторную обратную связь.

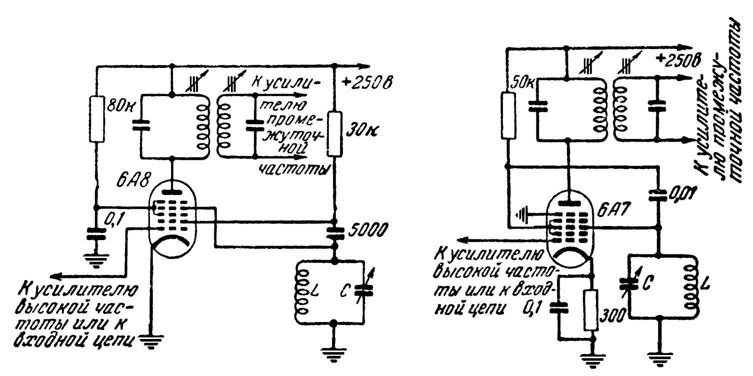
Такая схема показана на фиг. 31. Недостатком ее по сравнению со схемой, изображенной на фиг. 30, является некоторое ухудшение стабильности гетеродина.



Фиг. 31. Схема преобразовательного каскада с трансформаторной обратной связью гетеродина.

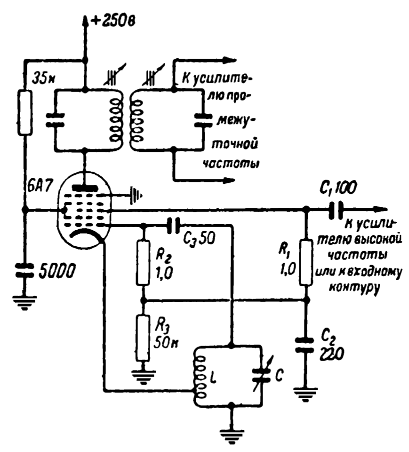
Оригинальная схема преобразователя частоты для приемника метрового диапазона уже была приведена на фиг. 8.

Используя в схемах гетеродина и смесителя одну и ту же преобразовательную лампу, можно построить гетеродин по транзитронной схеме, как и в случае применения отдельной лампы. Это позволяет повысить стабильность частоты гетеродина, упрощает конструкцию катушек и переключателя и, кроме того, дает возможность заземлить катод преобразовательной лампы. На фиг. 32 изображены предложенные М. Ганзбургом схемы такого типа.



Фиг. 32. Схемы преобразователей частоты с транзитронным гетеродином.

Усиление, даваемое преобразовательным каскадом, в значительной степени зависит от амплитуды напряжения гетеродина. Амплитуда этого напряжения обычно сильно изменяется при настройке приемника на разные частоты, в результате чего усиление преобразователя тоже меняется и чувствительность приемника на разных частотах диапазона оказывается различной. Для ослабления этого неприятного явления можно использовать схему, предложенную инж. Аппель и изображенную на фиг. 33.



Фиг. 33. Схема преобразователя частоты с компенсацией изменений усиления, вызываемых изменениями амплитуды колебаний гетеродина.

В этой схеме на сигнальную сетку лампы 6А7 подается через сопротивление R_1 напряжение смещения, снимаемое с сопротивления R_3. Это сопротивление R_3 входит в цепь утечки сетки гетеродина, и развиваемое на нем постоянное напряжение зависит от амплитуды колебаний гетеродина. В результате такого соединения при увеличении амплитуды колебаний гетеродина напряжение смещения на сигнальной сетке увеличивается, и наоборот. Увеличение амплитуды колебаний гетеродина увеличивает усиление преобразователя, а увеличение напряжения смещения его уменьшает. Таким образом, осуществляется компенсация влияния изменений амплитуды колебаний гетеродина на усиление преобразователя. Понятно, что этот принцип можно использовать не только в изображенной, но и в любой схеме преобразователя частоты.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

При постройке супергетеродинных приемников телевидения и частотной модуляции известные затруднения вызывает конструирование усилителей промежуточной частоты с широкой полосой пропускания и большим усилением. Аналогичные трудности возникают и при постройке широко-

полосных усилителей высокой частоты в приемниках прямого усиления. Стремясь к упрощению конструкции и к увеличению усиления каждого каскада, в таких усилителях обычно используют одиночные контуры вместо полосовых фильтров. Все контуры различных каскадов такого усилителя можно настроить на одну и ту же резонансную частоту. В этом случае для получения широкой полосы пропускания приходится сильно шунтировать контуры сопротивлениями, увеличивая их затухания и соответственно понижая добротность. Усилитель такого типа обладает неравномерным усилением различных частот в пределах полосы пропускания, плохой избирательностью и небольшим усилением.

Значительно лучшие результаты можно получить, несколько расстраивая контуры различных каскадов. В этом случае для получения той же полосы пропускаемых частот затухания контуров можно сделать меньше. При этом повышается усиление и улучшается избирательность усилителя.

Для получения наилучших результатов важное значение имеет выбор частот, на которые должны настраиваться контуры различных каскадов, а также выбор полос пропускания отдельных контуров. Ниже приводится табл. 1, содержащая сведения о наиболее выгодных частотах настройки и полосах пропусканий контуров различных каскадов усилителя. В этой таблице f_0 означает среднюю частоту, а Δf — ширину полосы пропускания всего усилителя.

Таблица 1

Общее число каскадов усилителя	№ каскада и контура	Резонансная частота контура (каскада)	Полоса пропускания контура (каскада)
2	1	$f_0-0{,}35\,\Delta f$	$0{,}71\,\Delta f$
	2	$f_0+0{,}35\,\Delta f$	$0{,}71\,\Delta f$
3	1	$f_0-0{,}43\,\Delta f$	$0{,}5\,\Delta f$
	2	f_0	Δf
	3	$f_0+0{,}43\,\Delta f$	$0{,}5\,\Delta f$
4	1	$f_0-0{,}46\,\Delta f$	$0{,}38\,\Delta f$
	2	$f_0-0{,}19\,\Delta f$	$0{,}92\,\Delta f$
	3	$f_0+0{,}19\,\Delta f$	$0{,}92\,\Delta f$
	4	$f_0+0{,}46\,\Delta f$	$0{,}38\,\Delta f$
5	1	$f_0-0{,}48\,\Delta f$	$0{,}31\,\Delta f$
	2	$f_0-0{,}29\,\Delta f$	$0{,}81\,\Delta f$
	3	f_0	Δf
	4	$f_0+0{,}29\,\Delta f$	$0{,}81\,\Delta f$
	5	$f_0+0{,}48\,\Delta f$	$0{,}31\,\Delta f$

УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ С ПЕРЕМЕННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ

При выборе ширины полосы пропускания приемника приходится сталкиваться с противоречивыми требованиями качества воспроизведения и избирательности. Для получения возможно более высокого качества звучания принимаемой передачи необходимо, чтобы приемник пропускал к детектору с равномерным усилением возможно больше составляющих спектра сигнала, т. е. необходимо, чтобы полоса пропускания высокочастотной части была достаточно широкой. Однако при широкой полосе пропускания и при слабых сигналах сильно сказывается действие различного рода помех. Для ослабления действия помех часто оказывается выгодным работать с узкой полосой пропускания, ухудшая в известной степени качество звучания.

Таким образом, при приеме сильных сигналов и при сравнительно слабых помехах желательно иметь широкую полосу пропускания высокочастотной части приемника, чтобы получать высокое качество звучания. Напротив, в условиях сильных помех и при приеме слабых сигналов полосу пропускания желательно делать более узкой.

По этим причинам в высококачественных радиовещательных приемниках полосу пропускания частот делают переменной. При помощи особой ручки, обычно объединенной с регулятором тембра, слушатель может устанавливать ширину полосы такой, которая наиболее выгодна в данных условиях приема.

В промышленных приемниках регулирование полосы пропускания обычно осуществляется путем изменения расстояния между индуктивно связанными катушками в одном или нескольких фильтрах промежуточной частоты. При этом меняется величина связи контуров, образующих полосовой фильтр, а вместе с тем меняется и ширина резонансной кривой.

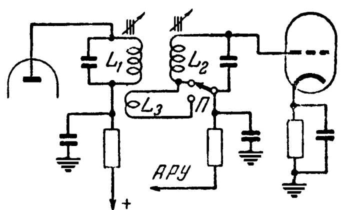
В любительских условиях изготовление фильтров промежуточной частоты с подвижными катушками затруднительно, и поэтому изменение ширины полосы пропускания путем изменения величины связи контуров полосового фильтра чаще всего выполняется иным способом.

На фиг. 34 изображена схема каскада усиления промежуточной частоты с переменной полосой пропускания. Катушки L_1 и L_2 имеют слабую связь и при установке переключателя *П* в верхнее (по схеме) положение полоса пропускания каскада оказывается узкой. При установке это-

го переключателя в нижнее положение во вторичный контур включается катушка L_3, которая представляет собой три-четыре витка, помещенных рядом с катушкой L_1. Благодаря малому числу витков катушки L_3 включение ее во вторичный контур не вызывает заметной расстройки последнего, однако связь контуров усиливается и полоса пропускания делается более широкой. Это расширение полосы зависит от числа витков катушки L_3 и их расположения относительно катушки L_1.

Для более сильного изменения полосы пропускания такое переключение можно осуществлять не в одном, а в двух или трех фильтрах промежуточной частоты.

Большой интерес представляют схемы, автоматически расширяющие полосу пропускания приемника при приеме сильных сигналов и делающие ее более узкой при слабых сигналах. Такие схемы недостаточно освоены как промышленностью, так и любителями, и проведение экспериментов с ними очень желательно.



Фиг. 34. Схема каскада промежуточной частоты с переменной полосой пропускания.

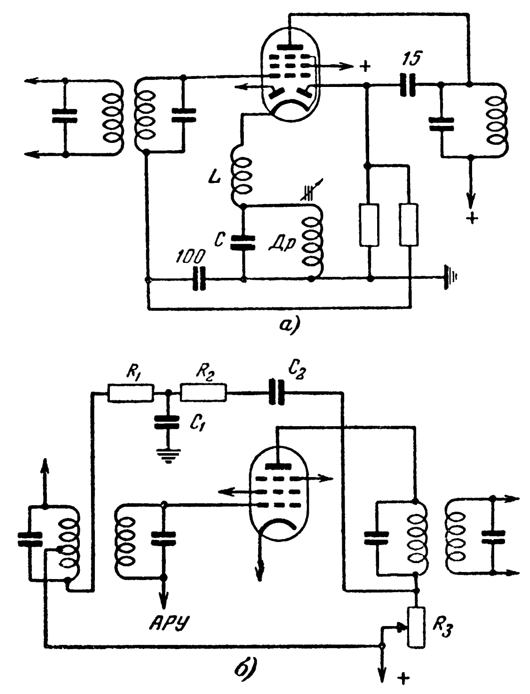
На фиг. 35 приведены две схемы такого типа, описанные М. Эфрусси[1]. Обе схемы представляют собой каскады усиления промежуточной частоты с обратной связью. В схеме фиг. 35,*а* отрицательная обратная связь создается включением в цепь катода лампы контура *LC*, настроенного на промежуточную частоту (дроссель *Др* служит для замыкания цепи катода по постоянному току). В схеме фиг. 35,*б* каскад охвачен положительной обратной связью через цепь $R_3C_2R_2C_1R_1$.

В схемах фиг. 35 обратная связь сужает полосу пропускания каскада и притом тем сильнее, чем больше его усиление. Это усиление, а вместе с тем и ширина полосы пропускания меняются под действием системы автоматической регулировки усиления в зависимости от силы принимаемых сигналов. Система автоматической регулировки при приеме сильных сигналов снижает усиление каскада и тем самым расширяет его полосу пропускания. При приеме

---

[1] „Радио", 1952, № 2.

слабых сигналов система автоматической регулировки увеличивает усиление и вместе с тем делает полосу пропускания более узкой.



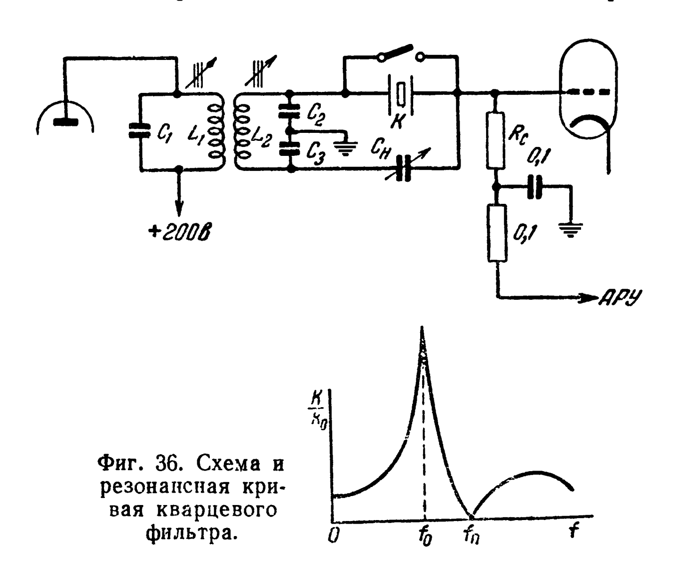
Фиг. 35. Схемы каскадов промежуточной частоты с автоматической регулировкой полосы пропускания.

УЗКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Если в приемниках телевидения и частотной модуляции конструктор сталкивается с необходимостью обеспечить широкую полосу пропускания усилителя промежуточной частоты, то в приемниках, предназначенных для приема телеграфных сигналов, возникает противоположная задача получения очень узкой полосы пропускания. Это может быть достигнуто при использовании в тракте промежуточной частоты кварцевых фильтров, а также фильтров с отрицательным сопротивлением (иногда их называют регенеративными).

На фиг. 36 изображена простейшая схема кварцевого фильтра, используемого в каскаде усиления промежуточной

частоты. В этой схеме емкости конденсаторов C_2 и C_3 имеют одинаковые величины, вдвое превышающие величину емкости C_1, благодаря чему контуры L_1C_1 и $L_2C_2C_3$ оказываются настроенными в резонанс (индуктивности L_1 и L_2 одинаковы). Конденсатор переменной емкости $C_н$ (до 20—30 *пф*) служит для нейтрализации действия емкости кварцедержа-



Фиг. 36. Схема и резонансная кривая кварцевого фильтра.

теля. При правильном подборе величины этого конденсатора по сопротивлению R_c протекают два равных и противофазных тока, один из которых создается под действием напряжения, возникающего на конденсаторе C_2, и протекает через емкость кварцедержателя, тогда как другой создается напряжением, возникающим на конденсаторе C_3, и протекает через емкость $C_н$. В сопротивлении R_c эти токи компенсируются. Кварц в этой схеме действует как фильтр с очень узкой резонансной кривой, включенный последовательно с сопротивлением R_c.

Резонансная кривая усилителя промежуточной частоты, выполненного по этой схеме (фиг. 36), характеризуется резонансной частотой f_0 и так называемой частотой подавления $f_п$. При изменении величины емкости $C_н$ резонансная частота f_0 остается неизменной, тогда как частота подавления $f_п$ изменяется, причем она может быть как выше, так и ниже резонансной частоты.

Резонансная кривая такого вида позволяет осуществить так называемый односигнальный телеграфный прием.

Как известно, при приеме незатухающих телеграфных сигналов по методу биений используется специальный гетеродин, работающий на частоте $f_{гет}$, близкой к промежуточной частоте приемника. Если принимаемый сигнал после преобразования имеет частоту $f_{пр.\ сиг}$, то частота слышимых на выходе приемника детектированных биений определяется разностью $f_{гет} - f_{пр.сиг} = F_1$.

Такая же или близкая частота детектированных биений F_2 может быть создана при той же частоте гетеродина $f_{гет}$ сигналами мешающей станции, которые после преобразования имеют частоту $f_{пр.\ пом}$: $f_{пр.\ пом} - f_{гет} = F_2$.

Это явление совершенно аналогично возникновению зеркального канала приема в преобразователе частоты супергетеродина. Появление детектированных биений близких частот от двух различных станций, частоты которых отличаются на $f_{пр.\ сиг} - f_{пр.\ пом} = F_1 + F_2$, может сильно затруднить прием, особенно при работе в любительских коротковолновых диапазонах, где работает очень много передатчиков.

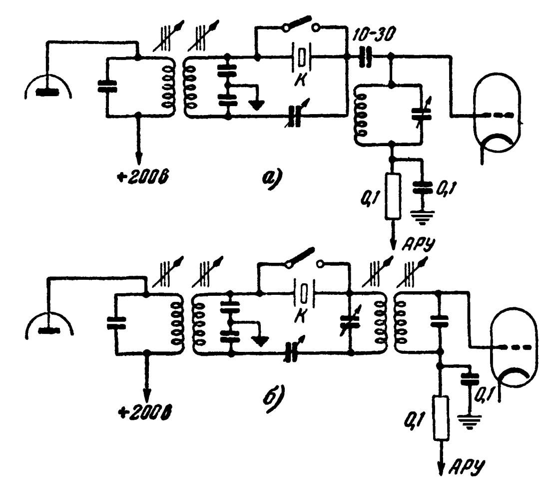
Приемники, не имеющие такого зеркального канала приема относительно частоты телеграфного гетеродина, носят название *односигнальных*. Односигнальность приема может быть получена, в частности, при использовании фильтра, изображенного на фиг. 36, если частоту подавления $f_п$ совместить с промежуточной частотой мешающей станции. Таким образом, изменяя величину емкости $C_н$ и частоту телеграфного гетеродина, можно добиться при приеме значительного ослабления помех.

Рассмотренный фильтр благодаря своей простоте может быть установлен в любой уже изготовленный приемник. Недостатком его является очень узкая резонансная кривая, затрудняющая настройку приемника и делающая ее нестабильной из-за возможных изменений частот передатчика и гетеродинов приемника.

На фиг. 37 изображены две схемы, которые позволяют регулировать ширину резонансной кривой фильтра путем расстройки контура, включенного последовательно с кварцем, вместо сопротивления R_c.

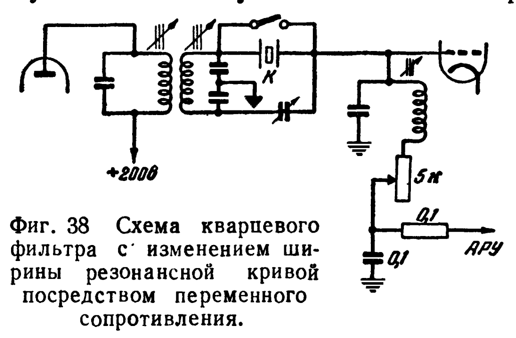
Тот же эффект изменения ширины резонансной кривой может быть получен при изменении величины сопротивления, включенного в выходной контур фильтра (фиг. 38). Макси-

мальная величина этого сопротивления берется в пределах $5 \div 10$ *ком*, причем желательно иметь логарифмический характер его изменения.



Фиг. 37. Схемы кварцевых фильтров, в которых ширина резонансной кривой может изменяться путем расстройки одного из контуров.

Во всех приведенных схемах выключение кварцевого фильтра и переход на работу с нормальной полосой пропускания осуществляются путем замыкания кварца.

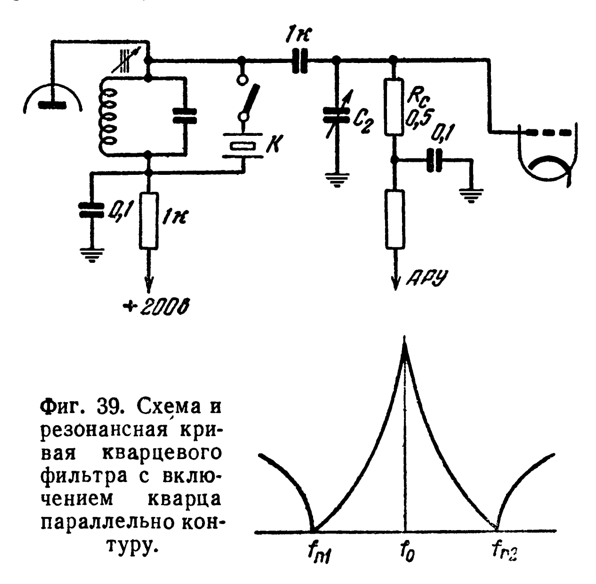


Фиг. 38 Схема кварцевого фильтра с изменением ширины резонансной кривой посредством переменного сопротивления.

На фиг. 39 изображена еще одна схема кварцевого фильтра. Здесь кварц присоединяется параллельно контуру промежуточной частоты. Индуктивность контура подбирается так, чтобы она вместе с емкостью постоянного конденсатора C_1, емкостью подстроечного конденсатора C_2 и

емкостью кварцедержателя была настроена на резонансную частоту кварца. Форма резонансной кривой такого фильтра (фиг. 39) отличается от предыдущей (фиг. 36) наличием двух частот подавления $f_{п1}$ и $f_{п2}$. Изменяя емкость конденсатора C_2, можно в известных пределах передвигать эти частоты подавления по оси частот. Выключение фильтра производится здесь путем отсоединения кварца.

В рассмотренных схемах могут использоваться обычные генераторные кварцы. Важно, чтобы контуры усилителя



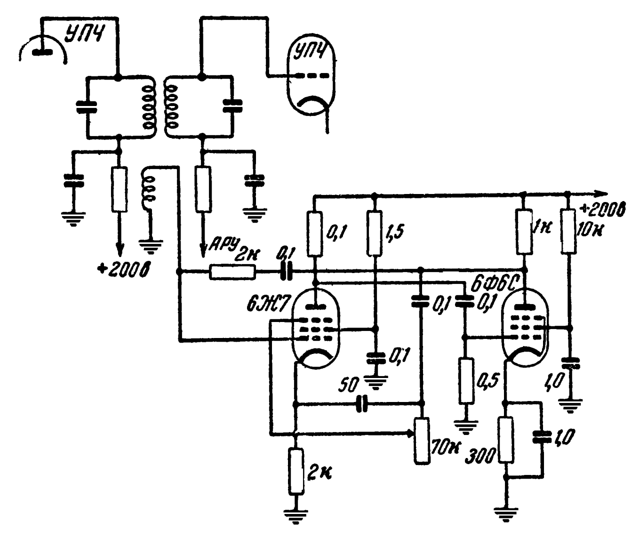
Фиг. 39. Схема и резонансная кривая кварцевого фильтра с включением кварца параллельно контуру.

промежуточной частоты были настроены по возможности точнее на частоту применяемого кварца. Для осуществления такой настройки удобно собрать простейший кварцевый гетеродин, в который на время настройки контуров включается кварц, вынутый из приемника. С целью улучшения работы фильтра желательно использовать в его схеме контуры с высокой добротностью, однако вполне удовлетворительные результаты получаются и при применении стандартных контуров промежуточной частоты от заводских приемников.

Наряду с кварцевыми фильтрами для узкополосного приема используются схемы, вносящие в один из контуров обычного усилителя промежуточной частоты отрицательное сопротивление. Величина этого отрицательного сопротивления подбирается таким образом, чтобы оно было незначи-

тельно меньше полного положительного сопротивления потерь в контуре. В этом случае энергия, вносимая отрицательным сопротивлением, компенсирует потери в контуре не полностью и самовозбуждение колебаний не возникает, однако затухание контура резко снижается и его полоса пропускания делается очень узкой.

Такая схема показана на фиг. 40. Она представляет собой обычный двухкаскадный усилитель, у которого из анодной цепи второй лампы 6Ф6С на сетку первой лампы 6Ж7



Фиг. 40. Схема узкополосного фильтра с отрицательным сопротивлением.

подается напряжение положительной обратной связи, а на катод первой лампы — напряжение отрицательной обратной связи. Вход усилителя индуктивно связывается с одним из контуров промежуточной частоты приемника. Величина связи катушки с контуром подбирается экспериментально. Переменное сопротивление в цепи отрицательной обратной связи величиной в 70 *ком* позволяет осуществлять регулировку полосы пропускания по промежуточной частоте.

Выше говорилось, что в любой схеме гетеродина в контур вносится отрицательное сопротивление, компенсирующее потери в контуре. Если режим работы схемы гетеродина подобрать таким образом, что компенсация потерь в контуре будет неполной, то самовозбуждение колебаний не возникнет, однако затухание контура при этом будет очень неболь-

шим и полоса пропускания его будет очень узкой. Это позволяет включать такой гетеродин без генерации (но находящийся вблизи от самовозбуждения) в схему усилителя промежуточной частоты в качестве контура с узкой полосой пропускания. Наиболее удобно использовать схемы гетеродинов, изображенные на фиг. 27 и 28, причем величины деталей этих схем следует изменить таким образом, чтобы добиться срыва генерации. Контур, входящий в схему гетеродина, удобнее всего включить в усилитель промежуточной частоты по схеме параллельного питания. Переход на работу с нормальной полосой пропускания может осуществляться путем отсоединения лампы гетеродина от контура или путем выключения питания этой лампы.

Недостатком рассмотренных фильтров с отрицательным сопротивлением является неустойчивость их работы. Изменения напряжения питания, смена ламп, случайные изменения настройки контуров могут вызвать очень резкие изменения полосы пропускания и усиления фильтра, а иногда это может привести даже к самовозбуждению колебаний.

Наряду с рассматриваемыми узкополосными фильтрами промежуточной частоты для приема телеграфных сигналов можно с успехом применять узкополосные фильтры низкой частоты (см. стр. 171). Однако низкочастотные фильтры в отличие от фильтров промежуточной частоты неспособны устранить двухсигнальность телеграфного приема.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ В ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАСКАДАХ

Рассмотренный выше метод уменьшения затухания контуров посредством вносимого отрицательного сопротивления с целью повышения усиления и избирательности не представляет по существу ничего нового и уже давно применяется в любительской практике. Действительно, положительную обратную связь, так часто используемую любителями, можно рассматривать как схему, вносящую в контур отрицательное сопротивление, причем для получения этого отрицательного сопротивления используется та же самая лампа, которая работает в каскаде, охваченном обратной связью.

Используя положительную обратную связь в каскаде усиления промежуточной частоты, можно резко повысить чувствительность приемника и его избирательность по соседним станциям. Применение положительной обратной связи в каскадах усиления радиочастоты тоже повышает чувствительность приемника и улучшает преселекцию. С таким

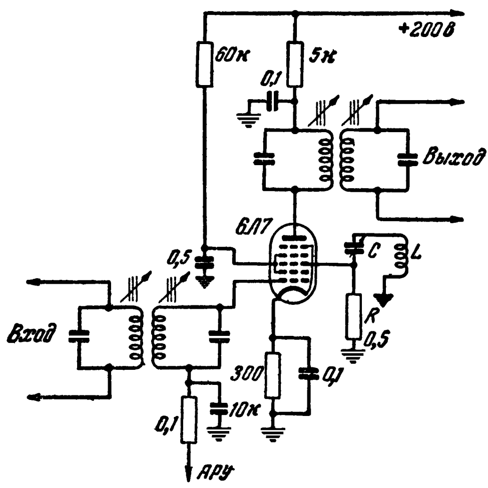
же успехом можно охватывать положительной обратной связью и преобразователи частоты. Дело в том, что анодный и экранный токи преобразовательной лампы содержат составляющие не только промежуточной, но и высокой частоты. Поэтому, если в цепь анода или экранной сетки преобразовательной лампы включить катушку, связанную с предыдущим контуром, то возникнет обратная связь по высокой частоте, улучшающая чувствительность приемника и его преселекцию.

Как уже было сказано, в приемниках с автоматической регулировкой усиления применение положительной обратной связи в регулируемых каскадах создает своеобразную автоматическую регулировку полосы пропускания. При приеме слабых сигналов усиление регулируемых каскадов является высоким, и сильное действие обратной связи приводит к резкому сужению полосы пропускания. Это ослабляет влияние помех, мешающих приему слабых сигналов. Напротив, при приеме сильных сигналов усиление регулируемых каскадов снижается и действие обратной связи ослабевает; это приводит к расширению полосы пропускания, что способствует получению высокого качества звучания сильных сигналов.

Однако наряду с этими достоинствами схемы положительной обратной связи обладают двумя крупными недостатками. Первый недостаток заключается в том, что регулировка обратной связи изменяет не только усиление каскада, но и его настройку. Второй недостаток состоит в том, что применение положительной обратной связи делает прием неустойчивым. В результате этой неустойчивости колебания питающего напряжения смена ламп и тому подобные случайные причины вызывают резкие изменения чувствительности и избирательности приемника и даже могут привести к его самовозбуждению. Рассмотрим схемы положительной обратной связи, в которых указанные недостатки в значительной степени ослаблены.

В схеме, изображенной на фиг. 41, в усилительном каскаде используется лампа типа 6Л7, у которой на одну сетку подается усиливаемое напряжение, а на другую — напряжение обратной связи, возникающее на катушке *L*. Регулировка обратной связи производится посредством небольшого конденсатора *C* с максимальной емкостью порядка 50 *пф*. Такая раздельная подача напряжений сигнала и обратной связи на различные сетки лампы обеспечивает независимость настройки контура от регулировки обратной связи. Эта схема изображена для случая использования обратной связи

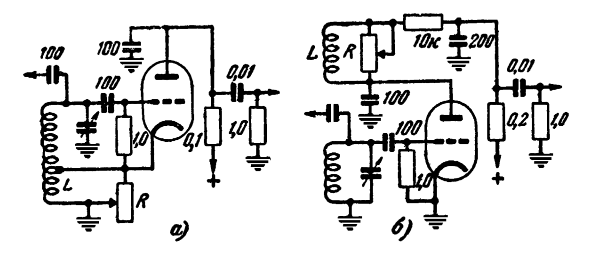
в каскаде промежуточной частоты, однако тот же принцип можно с успехом применить в каскадах усиления радиочастоты. Вместо лампы 6Л7 в этой схеме можно использовать



Фиг. 41. Схема усилительного каскада с обратной связью.

Катушка L_1 содержит 25 витков и намотана рядом с анодной катушкой полосового фильтра.

лампу 6А8. Более новые преобразовательные лампы типа 6А7, 6А10С, 1А1П имеют заметно бо́льшую емкость между анодом и сеткой, вследствие чего они в такой схеме работают ненадежно.

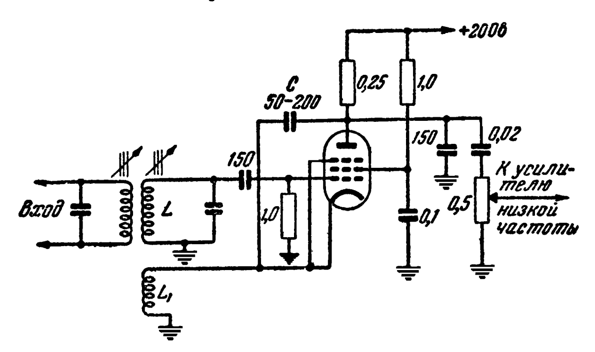


Фиг. 42. Схемы регулирования обратной связи.

Хорошие результаты дают также схемы, в которых регулировка обратной связи производится путем изменения анодного или экранного напряжения лампы. Пример такой регулировки был приведен на фиг. 1.

На фиг. 42 приведены простые схемы каскадов с обратной связью, предложенные В. Егоровым и А. Нефедовым. Регулировка обратной связи здесь производится путем изменения сопротивления R, шунтирующего катушку обратной связи L. Величина сопротивления может быть любой, от 1 до 20 *ком*. Положение отвода от катушки в схеме фиг. 42,*а* должно быть подобрано в соответствии с величиной сопротивления.

Для повышения устойчивости работы каскада, охваченного положительной обратной связью, в него можно ввести,



Фиг. 43. Схема сеточного детектора с положительной и отрицательной обратными связями.

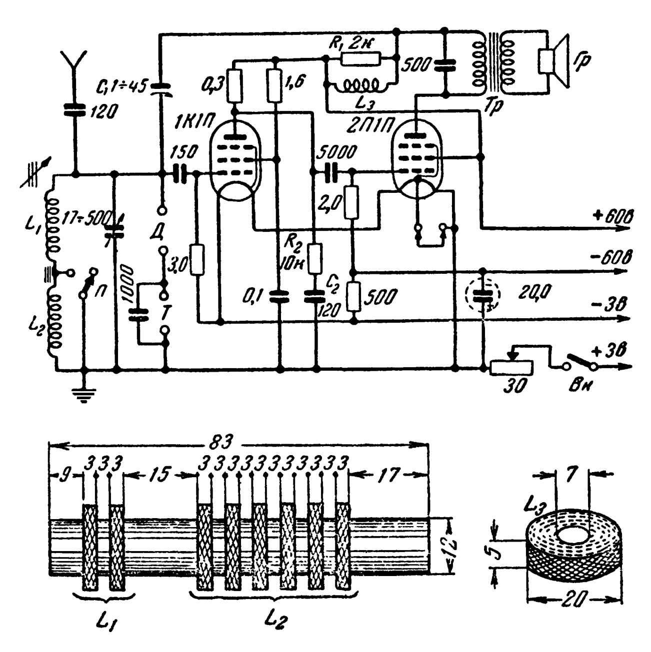
Катушка L_1 имеет шесть витков, намотанных между витками катушки L (фильтра промежуточной частоты 465 *кгц*).

кроме того, отрицательную обратную связь. Схема и параметры цепи отрицательной обратной связи подбираются таким образом, чтобы она частично компенсировала действие положительной обратной связи. Если в этом случае какая-либо причина вызовет увеличение положительной обратной связи, то под действием этой же причины усилится и отрицательная обратная связь. В результате увеличение положительной обратной связи будет в значительной степени компенсировано, благодаря чему чувствительность и избирательность приемника изменяется незначительно.

На фиг. 43 изображена схема каскада сеточного детектирования, охваченного положительной и отрицательной обратной связью. Здесь используется общая катушка обратной связи, причем положительная обратная связь создается ее включением в цепь катода, тогда как отрицательная обратная связь создается включением той же катушки в цепь анода через конденсатор C. Налаживая эту схему, надо

добиваться, чтобы при отсоединении от катушки конденсатора C_1 схема генерировала; присоединение этого конденсатора должно срывать генерацию, но сохранять достаточное усиление.

В заключение раздела об обратных связях рассмотрим схему разработанного М. Облезовым, А. Наумовым и П. Облезовым приемника «Тула», который наряду с другими



Фиг. 44. Схема любительского варианта приемника „Тула" и конструкция катушек.

интересными особенностями содержит оригинальную схему обратной связи. Любительский вариант схемы этого приемника, предложенный И. Семеновым [1], приведен на фиг. 44. Первая лампа 1К1П включена по обычной схеме сеточного детектора, с выхода которого напряжение звуковой частоты вместе с напряжением радиочастоты подается на управляющую сетку выходной лампы 2П1П. В анодную цепь этой лампы, кроме выходного трансформатора *Тр*, включена цепь L_3R_1. Возникающее на этой цепи напряжение радиочастоты через конденсатор C_1 подается на управляющую сетку пер-

[1] „Радио", 1953, № 7

вой лампы, создавая обратную связь. Эта схема не требует специальной катушки обратной связи или отводов от контура, что позволяет упростить переключатель диапазонов.

Соответствующий подбор величин L_3R_1 и R_2C_2 обеспечивает равномерное действие этой схемы по диапазону.

Достоинством такой схемы является также то, что она не позволяет производить поиск станции при генерирующем приемнике, так как одновременно с колебаниями высокой частоты здесь возникают и колебания звуковой частоты, заглушающие сигналы принимаемой станции. Тем самым предотвращается опасность создания помех другим приемникам. Регулировка обратной связи производится путем изменения емкости подстроечного конденсатора C_1.

Гнезда *Д* и *Т* служат для включения детектора и телефона при отсутствии источников питания.

Питание анодной цепи приемника производится от двух батарей БАС-Г-60, включенных параллельно, питание цепи накала — от двух последовательно соединенных элементов типа 3С. После снижения напряжения элементов накала можно замкнуть половину нити выходной лампы. Указанный комплект обеспечивает работу в течение 800 час.

Конструкция катушек показана под схемой фиг. 44. Катушка L_1 имеет две секции по 54 витка, L_2 — шесть секций по 65 витков и L_3 — 200 витков. Все катушки намотаны проводом ПЭШО 0,15 или ПЭШО 0,17 по типу «Универсаль» или же внавал между щечками.

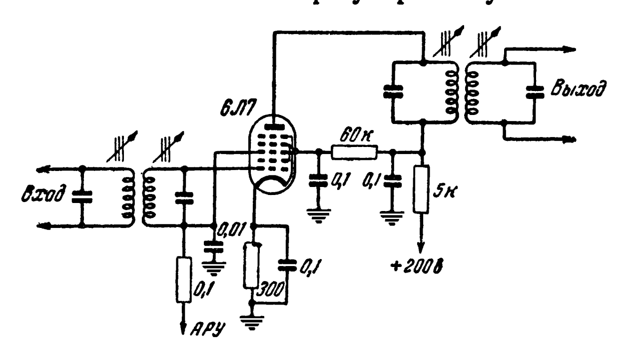
АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

Для повышения качества приема важное значение имеет улучшение действия автоматической регулировки усиления. Однако обычно применяемые схемы не обеспечивают достаточно эффективной регулировки и для ее улучшения в наиболее сложных приемниках используют схемы с усилением регулирующего напряжения до или после детектора. Такие схемы *усиленной автоматической регулировки усиления* получаются довольно сложными и зачастую имеют склонность к самовозбуждению. Стремление упростить схему приемника и повысить надежность его работы привело к появлению некоторых новых схем.

Прежде всего надо отметить, что резкое улучшение действия регулировки усиления можно получить, используя в регулируемых каскадах лампу типа 6Л7 и подавая регулирующее напряжение не только на сигнальную, но и на гетеродинную сетку. Усиление таких каскадов меняется под

действием регулирующего напряжения смещения гораздо резче, чем в случае использования обычных пентодов с переменной крутизной. Максимальное усиление при использовании лампы 6Л7 практически получается таким же, как и при использовании лампы 6К7.

Схема такого каскада приведена на фиг. 45. Ту же двойную регулировку можно осуществить и в схеме, изображенной на фиг. 41. Для этого достаточно нижний конец сопротивления *R* отсоединить от «земли» и подать на него напряжение автоматической регулировки усиления.



Фиг. 45. Схема усилительного каскада на лампе 6Л7 с использованием двух сеток для автоматической регулировки усиления.

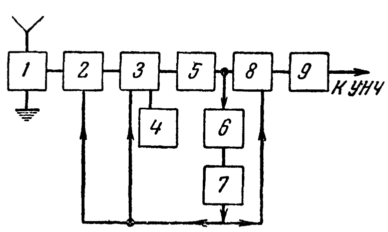
Вместо лампы 6Л7 в этой схеме можно использовать лампу 6А8. Новые преобразовательные лампы типа 6А7, 6А10С и 1А1П в усилительных каскадах использовать нельзя, так как они обладают большой емкостью между сеткой и анодом, которая может вызвать самовозбуждение усилительных каскадов.

На работу автоматической регулировки усиления заметное влияние оказывают схемы питания регулируемых каскадов. Дело в том, что регулировка усиления производится путем изменения напряжения смещения, отчего рабочая точка сдвигается по характеристике лампы и изменяется ее крутизна.

Однако при перемещениях рабочей точки происходят, кроме того, изменения токов анода, экранной сетки и катода. Вследствие наличия в этих цепях сопротивлений изменения токов меняют напряжения на соответствующих электродах лампы. Такое изменение напряжений делает регулирование усиления менее эффективным, чем оно было бы при неизменных напряжениях на электродах.

Для борьбы с этим неприятным явлением в регулируемы каскадах следует по возможности уменьшать величины раз вязывающих сопротивлений в анодных цепях; питать экран ные сетки не через гасящие сопротивления, а от потенцио метров, и начальные напряжения смещения получать не от катодных сопротивлений, а от какого-либо потенциометра напряжение которого мало изменяется при действии системы автоматического регулирования усиления.

Обычно используемые схемы автоматической регулировки усиления осуществляют подачу регулирующего напряжения на предшествующие детектору каскады. Гораздо более эффективное действие автоматической регулировки можно получить, подавая регулирующее напряжение также и на каскады, следующие за детектором. Скелетная схема такой регулировки в ее наиболее совершенном виде приведена на фиг. 46.



Фиг. 46. Скелетная схема автоматической регулировки усиления с подачей регулирующего напряжения не только на каскады, предшествующие детектору схемы автоматической регулировки, но и на каскады, следующие за этим детектором.

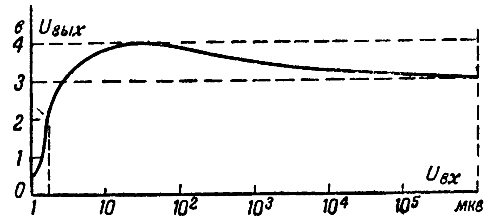
1 — входные цепи; 2 — усилитель высокой частоты; 3 — преобразователь частоты; 4 — гетеродин; 5 — первый усилитель промежуточной частоты; 6—усилитель АРУ; 7 — детектор АРУ; 8 — второй усилитель промежуточной частоты; 9 — детектор.

В этой схеме для усиления принимаемых сигналов используются два каскада промежуточной частоты, причем с выхода первого каскада напряжение подается, кроме того, на специальный усилительный каскад, работающий в системе автоматической регулировки усиления. Напряжение, получаемое на выходе этого каскада, детектируется и подается в качестве регулирующего напряжения на каскады усиления радиочастоты, на преобразователь и на первый каскад усиления промежуточной частоты. Кроме того, приблизительно одна треть этого напряжения подается на второй каскад усиления промежуточной частоты.

Такая система автоматической регулировки усиления с подачей регулирующего напряжения не только «назад», но и «вперед» дает очень хорошее регулирование. Характеристика регулирования в одном из приемников такого типа изображена на фиг. 47. В отличие от обычных изображенная характеристика после достижения некоторого максимума

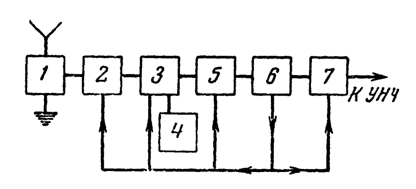
начинает падать. При изменении входного напряжения от 3 *мкв* до 1 *в*, т. е. при изменении его в 300 000 раз, напряжение на выходе приемника изменяется лишь между 3 и 4 *в*.

При всех своих достоинствах эта система является довольно сложной и может найти лишь ограниченное примене-



Фиг. 47. Характеристика системы, изображенной на фиг. 46.

ние в любительских приемниках. Однако тот же принцип подачи напряжения «назад» и «вперед» можно осуществить более просто. Для этого достаточно подавать половину или треть регулирующего напряжения на первый каскад усиления низкой частоты. Скелетная схема такой системы изображена на фиг. 48, а на фиг. 49 приведена схема детектора автоматической регулировки и первого каскада усиления низкой частоты.

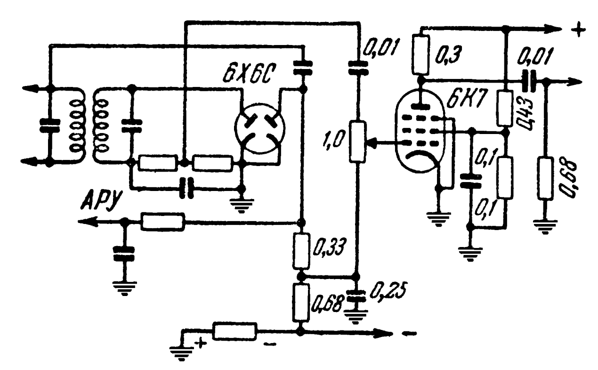


Фиг. 48. Упрощенный вариант схемы фиг. 46.

1 — входные цепи; *2* — усилитель высокой частоты; *3* — преобразователь частоты; *4* — гетеродин; *5* — усилитель промежуточной частоты; *6* — детектор сигнала и АРУ; *7* — первый каскад усиления низкой частоты.

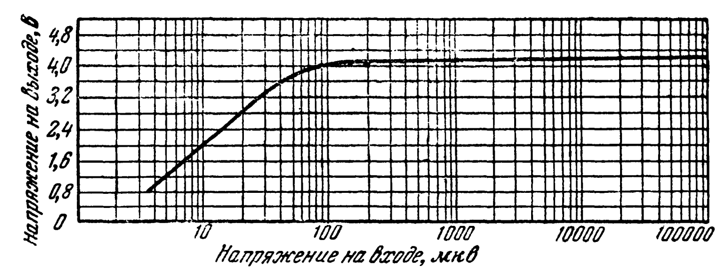
При использовании этой схемы в первом каскаде усиления низкой частоты должна работать лампа с переменной крутизной (типа 6К7 или подобная ей). Используя такую лампу, можно опасаться появления нелинейных искажений. Однако надо иметь в виду, что усилитель низкой частоты обычно рассчитывается для работы от проигрывателя граммпластинок, который развивает весьма небольшое напряжение. Поэтому во избежание перегрузок последующих ламп первая лампа усилителя даже при приеме сильных сигналов работает с очень небольшими напряжениями на сетке, при которых нелинейность характеристики практически не вызывает искажений. Опыт использования таких схем в ряде любительских и промышленных приемников (например,

в приемнике Нева-52) показывает, что при правильном подборе режима лампы вполне можно осуществить регулировку усиления в первом каскаде низкой частоты без сколько-нибудь заметных искажений.



Фиг. 49. Схема детектора автоматической регулировки и регулируемого каскада низкой частоты.

На фиг. 50 приведена характеристика работы такой схемы в любительской радиоле, построенной В. Чернявским [1]. Как показывает эта характеристика, выходная мощность приемника при сигналах любой силы не превосходит расчетной величины, благодаря чему резко сокращаются нелиней-



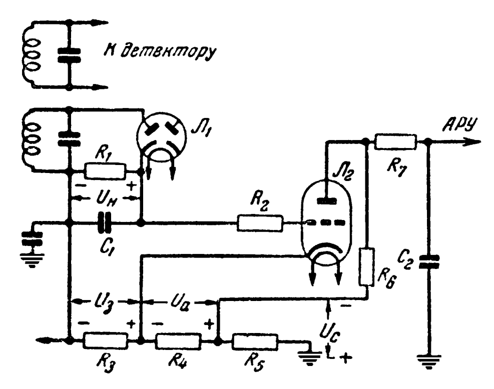
Фиг. 50. Характеристика схемы фиг. 48.

ные искажения, обычно возникающие в выходном каскаде при приеме чрезмерно сильных сигналов.

В приемниках первого класса в последнее время стали применяться также схемы автоматической регулировки усиления с усилителем регулирующего напряжения. Типич-

[1] „Радио“, 1950, № 10.

ная схема такого типа приведена на фиг. 51*. В этой схеме сопротивления R_3, R_4 и R_5 включены между „минусом" источника анодного напряжения и шасси. Падение напряжения $U_з$ на сопротивлении R_3 действует между катодом и сеткой лампы $Л_2$, запирая ее. При приеме сигнала на нагрузке детектора R_1C_1 образуется выпрямленное напряжение $U_н$, которое действует в цепи сетки лампы $Л_2$ вместе с напряжением $U_з$. Напряжение $U_з$ выбирается таким образом, чтобы лампа $Л_2$ отпиралась под действием



Фиг. 51. Схема усилителя регулирующего напряжения.

напряжения $U_н$ лишь при достаточно сильных сигналах, чем и создается задержка в действии системы автоматической регулировки усиления.

После того как лампа $Л_2$ отопрется, она производит усиление изменений напряжения $U_н$. Усиленное напряжение возникает на сопротивлении R_6 и через фильтр R_7C_2 подается на сетки регулируемых ламп. Исходное напряжение смещения $U_с$ на сетки этих же ламп подается с сопротивления R_5. Падение напряжения на сопротивлении R_4 служит анодным напряжением $U_а$ для лампы $Л_2$.

В этой схеме R_7 и C_2 имеют обычные величины порядка 0,5 *мгом* и 0,1 *мкф*. Сопротивление R_6 берется величиной 30—50 *ком*. Сопротивления R_3, R_4 и R_5 выбираются так, чтобы падение напряжения на R_5 равнялось требуемой величине исходного смещения на сетках регулируемых ламп

---

* „Радио", 1951, № 10.

(обычно порядка 1—3 *в*), падение напряжения на R_3 должно создавать требуемую задержку (обычно оно бывает порядка нескольких вольт). Падение напряжения на R_4 должно иметь величину 30—50 *в*. Сопротивление R_2 служит в этой схеме для ограничения сеточных токов и имеет величину порядка 1 *мгом*.

Если сопротивления R_3, R_4 и R_5 включить в провод питания анодных цепей, то на них расходуется несколько десятков вольт и соответственно снижается напряжение на всех лампах приемника. Поэтому выгоднее питать сопротивления R_3, R_4 и R_5 от специального маломощного источника отрицательного (по отношению к шасси) напряжения.

ВКЛЮЧЕНИЕ ИНДИКАТОРА НАСТРОЙКИ

Недостатком большинства приемников является плохая работа индикатора настройки 6Е5С. Обычно применяемая схема включения этого индикатора, в которой он реагирует на изменения напряжения на нагрузке детектора, дает хорошие результаты только при приеме сильных сигналов и лишь в таких приемниках, у которых система автоматической регулировки усиления работает недостаточно эффективно. При наличии хорошо действующей системы автоматической регулировки усиления напряжение на нагрузке детектора в процессе настройки на станцию меняется слабо, что затрудняет определение момента точной настройки по индикатору.

С целью повышения чувствительности индикатора О. Чазовым предложена схема, приведенная на фиг. 52[1]. Здесь в отличие от обычной схемы экран лампы 6Е5С соединяется с положительным полюсом анодного напряжения через сопротивление $R_3 = 47$ *ком*. Это создает такой режим работы индикатора, при котором его чувствительность заметно повышается, хотя и за счет некоторой потери яркости свечения экрана.

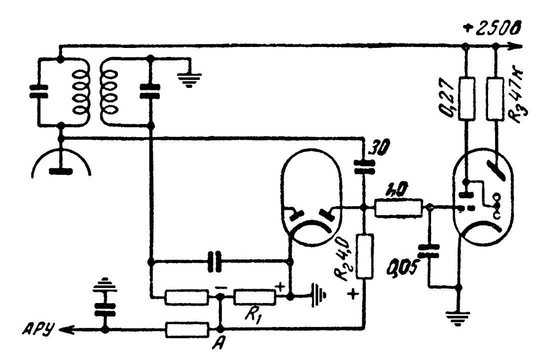
Добавочное повышение чувствительности в этой схеме достигается тем, что специальный диод детектирует напряжение промежуточной частоты, снимаемое с первичного контура последнего фильтра. Сопротивление R_2 нагрузки этого диода присоединено к сопротивлению R_1 нагрузки детектора сигнала. Благодаря этому в точке *А* действует сумма напряжений, возникающих на нагрузках детектора сигнала

---

[1] „Радио“, 1951, № 1.

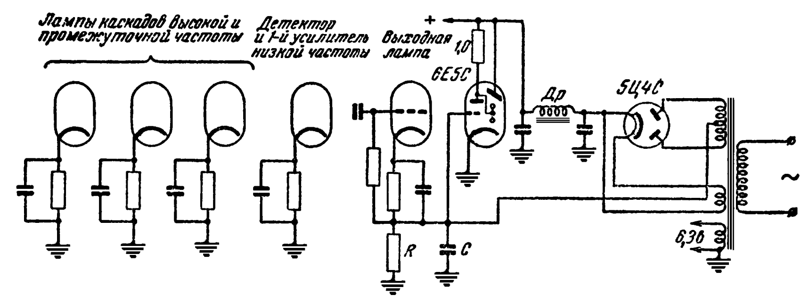
и добавочного диода, что и приводит к увеличению чувствительности индикатора 6Е5С.

Рассмотрим применение другой схемы для повышения чувствительности индикатора настройки в многоламповых приемниках с эффективной системой автоматической регу-



Фиг. 52. Схема включения индикатора настройки 6Е5С.

лировки усиления. В этой схеме (фиг. 53) лампы регулируемых каскадов используются для усиления постоянного напряжения, подаваемого на сетку индикатора 6Е5С. Для этого напряжение на сетку лампы 6Е5С снимается с проволочного сопротивления R, по которому протекают катодные



Фиг. 53. Схема включения индикатора настройки 6Е5С в многоламповых приемниках.

токи всех регулируемых ламп. При настройке на станцию напряжение автоматической регулировки усиления сдвигает рабочие точки регулируемых ламп по их характеристикам, изменяя величину тока, протекающего по сопротивлению R. При этом в многоламповых приемниках в момент настройки падение напряжения на сопротивлении R изменяется силь-

нее, чем регулирующее напряжение, что и создает усиление постоянного напряжения, подаваемого на сетку лампы 6Е5С. Момент точной настройки при таком включении отмечается по наибольшему расширению теневой полосы на экране индикатора.

Для получения наилучших результатов схему надо выполнить так, чтобы по сопротивлению R протекали катодные токи лишь тех ламп, усиление которых подвергается регулированию. Чтобы не усложнять схему, через сопротивление R можно питать также катоды нерегулируемых высокочастотных ламп и первого каскада усиления низкой частоты. Катоды прочих ламп надо присоединить к источнику питания так, чтобы их токи по сопротивлению R не протекали. Сопротивление R полезно шунтировать конденсатором емкостью в 10—15 *мкф*.

Чтобы теневой сектор лампы 6Е5С полностью закрылся, на сетку ее надо подать напряжение порядка 8 *в*. Величина сопротивления R должна быть такой, чтобы сумма катодных токов всех ламп, питаемых через это сопротивление, при начальном напряжении смещения развивала на нем напряжение 8 *в*, т. е.

$$R = \frac{8}{\Sigma I_к},$$

где $\Sigma I_к$ — сумма катодных токов всех ламп, питаемых через сопротивление R (в том числе и самой лампы 6Е5С), при начальном напряжении смещения.

Усиление изменений постоянного напряжения, подаваемого на сетку лампы 6Е5С, по сравнению с изменениями регулирующего напряжения определяется величиной

$$K = 1{,}2\Sigma S \cdot R \approx \frac{10\,\Sigma S}{\Sigma I_к},$$

где ΣS — суммарная крутизна анодных характеристик регулируемых ламп при исходном напряжении смещения, а множитель 1,2 учитывает увеличение крутизны катодного тока по сравнению с крутизной анодного тока.

Применение рассмотренной схемы оправдывается лишь в таких приемниках, где величина K превышает единицу, что обычно имеет место в многоламповых приемниках.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА

Кроме автоматической регулировки усиления, в современных приемниках некоторое применение находит также автоматическая подстройка частоты гетеродина. Осуществле-

ние ее в любительских условиях не представляет особых трудностей, однако применение ее имеет смысл далеко не во всех приемниках. Дело в том, что при приеме слабых сигналов система автоматической подстройки очень часто стремится настроить приемник на какой-либо более сильный сигнал с близкой частотой. Это заставляет в отдельных случаях выключать систему автоматической подстройки, что затрудняет обращение с приемником. Поэтому надо считать, что в приемниках с плавным диапазоном гораздо рациональнее принять меры к хорошей стабилизации частоты гетеродина, вместо того чтобы устраивать автоматическую подстройку нестабильного гетеродина.

Применение автоматической подстройки имеет смысл главным образом в приемниках с фиксированными настройками, переключаемыми посредством кнопочного (или какого-нибудь иного) переключателя. В таких приемниках с течением времени происходит изменение фиксированных настроек и введение системы автоматической подстройки может оказаться необходимым для компенсации этих изменений. Однако и в этом случае можно избежать необходимости в автоматической подстройке путем использования контуров со стабильными настройками и путем некоторого расширения полосы пропускания приемника. Такое расширение устранит искажения приема при незначительных изменениях частоты гетеродина и вместе с тем обеспечит более естественное звучание передач мощных станций, для приема которых только и применяются фиксированные настройки.

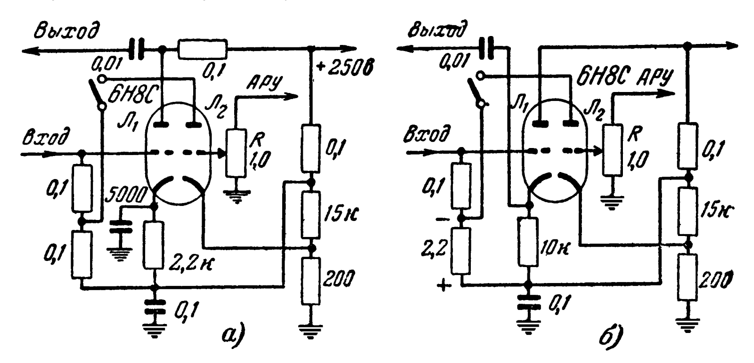
Наиболее часто автоматическая подстройка используется в ультракоротковолновых приемниках телевидения и частотной модуляции. Поскольку непременной частью системы автоматической подстройки является детектор частотной модуляции, мы рассмотрим эти системы в главе, посвященной приему частотной модуляции. Однако надо сказать, что при тщательном выполнении приемников метровых волн в них вполне можно добиться такой стабильности частоты гетеродина, которая делает ненужным введение системы автоматической подстройки.

БЕСШУМНАЯ НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА

При приеме сигналов громко слышимых станций система автоматической регулировки усиления снижает чувствительность приемника настолько, что он практически почти совершенно не воспринимает различного рода помехи. Однако

при перестройке приемника с одной станции на другую, когда приемник не настроен на сильные сигналы, система автоматической регулировки усиления резко повышает его чувствительность, в результате чего он воспринимает помехи, создающие громкие неприятные шумы и трески.

Для борьбы с этими шумами в современные высококачественные приемники вводят так называемые системы бесшумной настройки. Действие их сводится к тому, что они полностью или частично запирают усилитель низкой частоты приемника при отсутствии достаточно сильных сигналов



Фиг. 54. Схемы бесшумной настройки с управляемым усилителем низкой частоты.

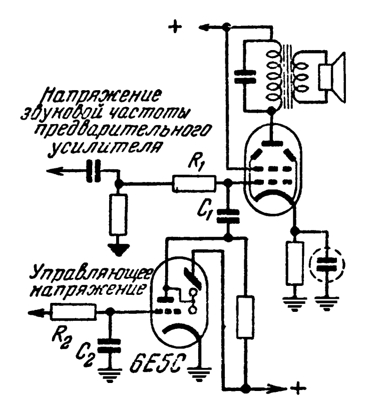
и отпирают его, когда приемник воспринимает сигналы, превосходящие некоторый заранее установленный уровень.

Систем такой бесшумной настройки существует довольно много. На фиг. 54,*а* приведена одна из наиболее простых схем, предложенная О. Туторским [1]. Принцип действия этой схемы состоит в том, что обычный каскад усиления низкой частоты с триодом $Л_1$ при отсутствии достаточно сильных сигналов запирается напряжением, получаемым от системы автоматической регулировки усиления приемника и отпирается этим напряжением при наличии таких сигналов. Система автоматической регулировки усиления дает при приеме сильных сигналов большое отрицательное напряжение: чтобы триод $Л_1$ при сильных сигналах отпирался, полярность этого напряжения необходимо изменить на обратную. Это осуществляется триодом $Л_2$. Потенциометр *R* позволяет регулировать силу сигнала, при которой триод $Л_1$ отпирается или запирается.

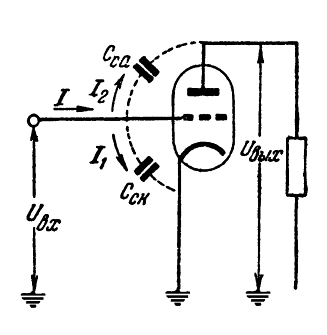
[1] „Радио", 1952, № 9.

В тех случаях, когда такая система добавляется к уже имеющемуся приемнику, желательно, чтобы она не увеличивала усиления по низкой частоте. Для этого управляемый каскад с триодом $Л_1$ можно выполнить по схеме катодного повторителя, как показано на фиг. 54,*б*.

Другой вариант схемы бесшумной настройки приведен на фиг. 55 *. В отличие от предыдущих схем здесь при отсутствии сильных сигналов усилитель низкой частоты полностью не запирается, но его частотная характеристика снижается на 12—15 *дб* в области высших звуковых частот,



Фиг. 55. Схема бесшумной настройки с лампой 6Е5С.



Фиг. 56. Схема, поясняющая определение входной емкости лампы.

что ослабляет действие помех. При приеме сильных сигналов частотная характеристика автоматически делается равномерной.

Для достижения такого действия в рассматриваемой схеме используется та же лампа 6Е5С, которая одновременно служит индикатором настройки. Внутреннее сопротивление этой лампы вместе с конденсатором C_1 (200—1 000 *пф*) шунтирует вход выходного каскада приемника, образуя своеобразный регулятор тембра. При отсутствии сигнала напряжение на сетке лампы 6Е5С равно нулю, ее внутреннее сопротивление оказывается минимальным и частотная характеристика усилителя резко снижается в области высших звуковых частот. При приеме сигнала на сетку лампы 6Е5С поступает отрицательное напряжение, ее внутреннее сопротивление возрастает, и частотная характеристика уси-

* „Радио“, 1951, № 3.

лителя выравнивается. Благодаря наличию фильтра R_2C_2 система не реагирует на отдельные импульсы помех. Включенное последовательно сопротивление R_1 величиной 0,2—0,6 *мгом* усиливает изменения частотной характеристики при изменениях внутреннего сопротивления лампы 6Е5С.

Для достижения такого же автоматического изменения частотной характеристики в зависимости от силы принимаемого сигнала можно использовать и другой принцип.

Предварительно выясним, чем определяется входная емкость усилительной лампы. На фиг. 56 изображена усилительная лампа (триод). Между сеткой и катодом ее действует входное напряжение $U_{вх}$, а между анодом и катодом — выходное напряжение

$$U_{вых}=KU_{вх},$$

где K — коэффициент усиления каскада.

Между сеткой и катодом лампы имеется междуэлектродная емкость $C_{с.к}$. Под действием входного напряжения через эту емкость течет емкостный ток

$$I_1=\frac{U_{вх}}{\frac{1}{\omega C_{с.к}}}=U_{вх}\omega C_{с.к}.$$

Между сеткой и анодом имеется междуэлектродная емкость $C_{с.а}$. К этой емкости приложено напряжение

$$U_{вых}+U_{вх}=(K+1)U_{вх}$$

и ток через нее

$$I_2=\frac{U_{вых}+U_{вх}}{\frac{1}{\omega C_{с.а}}}=(K+1)U_{вх}\omega C_{с.а}.$$

Таким образом, при подаче на вход лампы напряжения $U_{вх}$ в цепи ее сетки текут два емкостных тока, сумма которых

$$I=I_1+I_2=U_{вх}\omega[C_{с.к}+(K+1)C_{с.а}].$$

Это позволяет считать, что вход лампы эквивалентен конденсатору, емкость которого

$$C_{вх}=C_{с.к}+(K+1)C_{с.а}.$$

Полученное выражение показывает, что если емкость $C_{c.a}$ сделать достаточно большой и изменять величину усиления каскада, например, путем изменения напряжения смещения на сетке лампы, то величину входной емкости можно изменять в широких пределах.

Это явление часто используется в системах бесшумной настройки. В таких системах параллельно входу обычного усилителя через конденсатор в 5 000—10 000 *пф* присоединяются сетка — катод триода. Емкость $C_{c.a}$ этого триода увеличивается путем присоединения между сеткой и анодом конденсатора в 50—75 *пф*. Кроме того, на сетку триода подается (через сопротивление утечки) напряжение автоматической регулировки усиления. При отсутствии сигналов или при приеме слабых сигналов, когда это напряжение равно нулю, высокочастотные каскады приемника имеют максимальное усиление, что приводит к появлению на выходе детектора сильных шумов. Однако при этом триод оказывается отпертым, его входная емкость имеет большую величину и сильно шунтирует вход усилителя. При настройке приемника на мощный сигнал напряжение автоматической регулировки уменьшает усиление высокочастотных каскадов так, что шумы делаются незаметными. Одновременно с этим напряжение автоматической регулировки запирает триод, резко уменьшая шунтирующую вход усилителя емкость и создавая тем самым условия для нормального звучания.

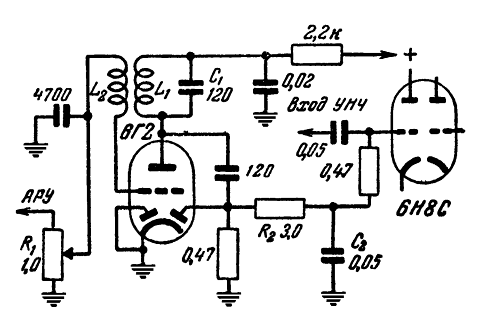
Существуют также схемы бесшумной настройки, где запирается не усилитель низкой частоты, а детектор сигнала. Такая схема применена, например, в приемнике «Ленинград-50».

Все эти схемы имеют один общий недостаток. При приеме очень сильных сигналов они обеспечивают вполне надежное отпирание усилителя (или выравнивание его частотной характеристики). При полном отсутствии сигналов они надежно запирают его (или снижают характеристику в области высших частот). Однако при приеме сигналов средней силы управляющее напряжение может иметь некоторое среднее значение и управляемый усилитель окажется в промежуточном «полуотпертом» состоянии, при котором прием будет происходить с сильными искажениями.

Во избежание этого неприятного явления необходимо, чтобы переход управляемого усилителя из запертого состояния в отпертое при изменении силы принимаемых сигналов происходил не постепенно, а скачком. Этого можно достичь, устанавливая между рассмотренными выше управляемыми

схемами и детектором системы автоматической регулировки усиления приемника особое устройство.

В качестве такого устройства можно использовать спусковую схему, широко применяемую в импульсной радиотехнике. Однако в приемниках обычно применяют вспомогательный генератор, работающий в режиме жесткого самовозбуждения. Колебания этого генератора выпрямляются особым выпрямителем (детектируются) и выпрямленное и отфильтрованное напряжение действует на любую из рассмотренных выше схем в качестве управляющего напряжения. На сетку лампы генератора подается напряжение



Фиг. 57. Схема бесшумной настройки с вспомогательным генератором.

с выхода детектора автоматической регулировки усиления приемника. Это напряжение может меняться в довольно широких пределах, почти не влияя на работу генератора. Однако, когда напряжение автоматической регулировки усиления, подаваемое на сетку лампы вспомогательного генератора, достигает некоторого определенного значения, колебания генератора резко срываются и управляемый усилитель низкой частоты сразу скачком переходит в другое состояние (отпертое). Таким образом, устраняется возможность работы при «полуоткрытом» усилителе.

На фиг. 57 приведена типичная схема такого устройства, примененного в приемнике «Мир». В этом блоке бесшумной настройки используется двойной диод — триод типа 6Г2. Его триодная часть с контуром L_1C_1 и катушкой обратной связи L_2 образует генератор, работающий на частоте 2 *мггц*. Управляющая сетка генераторного триода подключена к цепи автоматической регулировки усиления приемника через потенциометр R_1. При отсутствии или при слабом сигнале на входе приемника напряжение системы автомати-

ческой регулировки усиления отсутствует или мало и генератор создает высокочастотное напряжение. Оно выпрямляется правым (по схеме) диодом и через развязывающую цепь R_2C_2 подается на управляющую сетку триода лампы 6Н8С (усилитель низкой частоты). Тем самым приемник полностью запирается.

При наличии достаточно сильного сигнала, превышающего некоторое пороговое значение, напряжение автоматической регулировки усиления резко срывает колебания генератора, создаваемое им дополнительное смещение на сетке лампы *Л* исчезает и приемник отпирается. Установка порога срабатывания системы бесшумной настройки применительно к уровню помех в месте приема производится потенциометром R_1.

СЛУХОВОЙ ПРИЕМ ТЕЛЕГРАФНЫХ СИГНАЛОВ

Как известно, немодулированные радиотелеграфные сигналы можно принимать на слух лишь при наличии в приемнике особого устройства, обеспечивающего получение на выходе приемника звуковых сигналов того или иного тона.

Основным способом получения таких звуковых сигналов является использование специального местного гетеродина (см. стр. 72). Его колебания создают с принимаемыми высокочастотными сигналами биения, после детектирования которых получаются сигналы звуковой частоты. Частота этих биений в супергетеродинных приемниках равна разности между частотой местного *телеграфного* гетеродина и промежуточной частотой сигнала, причем последняя в свою очередь равна разности между радиочастотой сигнала и частотой гетеродина преобразовательного каскада. Таким образом, тон слышимых телеграфных сигналов можно изменять по желанию оператора, изменяя частоту либо местного телеграфного гетеродина, либо гетеродина преобразовательного каскада (т. е. слегка изменяя настройку приемника). Это позволяет подбирать наиболее различимый тон принимаемых сигналов.

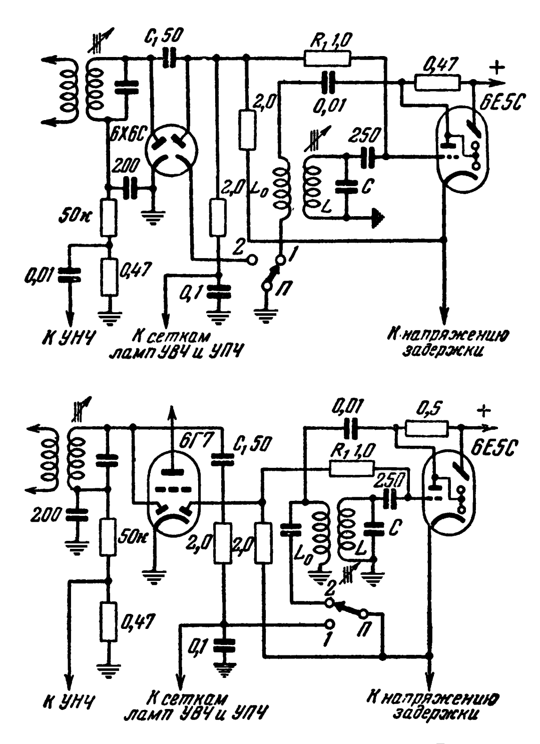
Если приемник одновременно принимает разные сигналы с несколько различными частотами, то они, как правило, создают звуковые сигналы различного тона, что позволяет выделить из них на слух желаемый сигнал.

Обычно телеграфный гетеродин выполняется в виде отдельного каскада.

При желании использовать для приема телеграфных сигналов обычный радиовещательный приемник, имеющий ко-

ротковолновый диапазон, добавить к нему телеграфный гетеродин можно, используя уже имеющийся в приемнике индикатор настройки 6Е5С.

Две схемы таких гетеродинов, предложенные И. Баяновым, приведены на фиг. 58*. В этих схемах при приеме



Фиг. 58. Схемы переключения лампы 6Е5С для использования ее в телеграфном гетеродине.

радиотелефонных станций переключатель *П* устанавливается в положение *2*. При этом лампа 6Е5С работает как индикатор настройки и включается система автоматической регулировки усиления.

При приеме телеграфных сигналов переключатель *П* устанавливается в положение *1*. При этом действие системы автоматической регулировки усиления прекращается, чтобы она под воздействием напряжения гетеродина не умень-

* „Радио", 1952, № 2.

шала усиление приемника. Катушка обратной связи L_0 в этом положении переключателя соединяется с заземлением, и лампа 6Е5С работает в схеме телеграфного гетеродина с контуром LC в цепи ее сетки. Для подбора нужной частоты настройку этого гетеродина можно изменять, перемещая сердечник катушки L. Напряжение гетеродина с контура LC через сопротивление R_1 и конденсатор C_1 подается на анод детекторного диода.

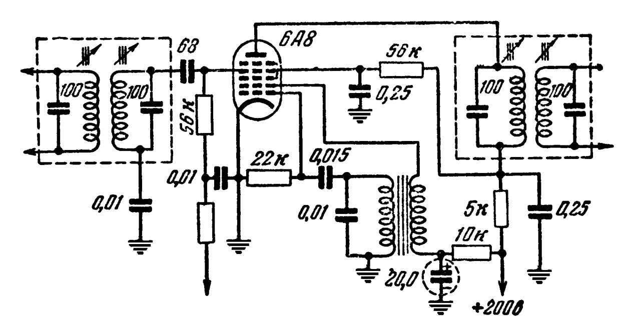
Еще более простым способом приспособления радиовещательного приемника для приема телеграфных сигналов является использование в качестве телеграфного гетеродина одного из каскадов усиления промежуточной частоты, поставленного в режим самовозбуждения колебаний. Добиться самовозбуждения такого каскада очень нетрудно. Для этого достаточно увеличить емкость между анодной и сеточной цепями. В таком приемнике гетеродин преобразователя частоты настраивается так, чтобы промежуточная частота сигнала, получаемая на выходе преобразователя, несколько отличалась от частоты самовозбуждения усилителя. При этом образуются биения, дающие после детектирования звуковые колебания.

Принципиально другим методом слухового приема телеграфных сигналов является использование в приемнике модулятора, на который подается модулирующее напряжение от местного генератора звуковых колебаний. Проходя через модулятор, принимаемые высокочастотные телеграфные сигналы подвергаются модуляции со звуковой частотой и после детектирования дают на выходе звуковые телеграфные сигналы.

В отличие от гетеродинного способа приема в этом случае тон слышимых звуковых сигналов определяется частотой модуляции, т. е. частотой местного звукового генератора, и не зависит от частоты принимаемого сигнала и от частоты гетеродина преобразовательного каскада. Это является недостатком данного метода, так как не позволяет по тону звучания разделять различные сигналы, одновременно воспринимаемые приемником. Однако вместе с тем это избавляет от нежелательных изменений тона слышимых сигналов, которые возникают вследствие нестабильности частоты любительских передатчиков и гетеродинов приемников и сильно мешают приему, особенно в 10- и 14-*м* диапазонах.

Звуковая модуляция высокочастотных колебаний в приемнике может осуществляться путем подачи напряжения от местного звукового генератора на один из электродов любой

лампы высокочастотного тракта приемника. Наиболее удобной является схема модуляции в каскаде усиления промежуточной частоты с лампой 6А8, которая одновременно используется и в схеме звукового генератора. Схема такого



Фиг. 59. Схема модулятора телеграфных сигналов.

типа, описанная М. Геркеном[1], приведена на фиг. 59. Использовать в этой схеме лампу 6А7 или 6А10С нельзя вследствие большой емкости между анодом и сеткой, которая может привести к неустойчивой работе усилителя.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИЕМ СИГНАЛОВ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Говоря о приеме сигналов с амплитудной модуляцией, надо отметить, что в последние годы велась большая работа по усовершенствованию ряда новых методов приема, в частности детектирования одной полосы боковых частот. Однако эти новые методы пока что мало доступны для радиолюбителей ввиду большой сложности аппаратуры. Что же касается новинок, применяемых в радиолюбительской практике, то их число в этой области очень невелико.

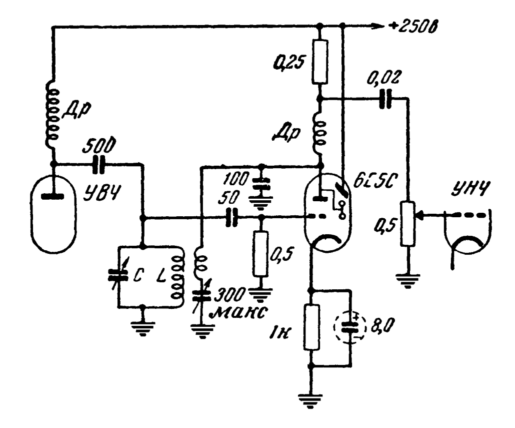
ЛАМПА 6Е5С КАК ДЕТЕКТОР

Отметим использование лампы 6Е5С в качестве комбинированного сеточного детектора с обратной связью и индикатора настройки в малоламповых приемниках. Схема такого включения приведена на фиг. 60. Надо иметь в виду, что индикация настройки в такой схеме получается не очень

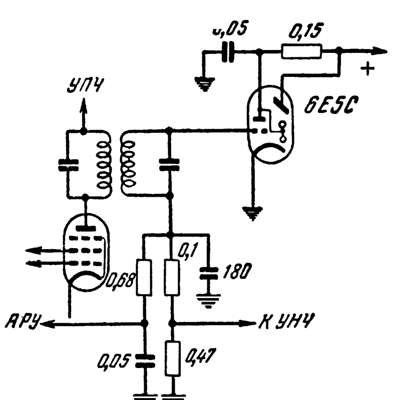
[1] „Радио“, 1951, № 9.

хорошей, так что настраиваться по индикатору можно лишь на мощные и сравнительно близко расположенные станции.

В обычных приемниках, имеющих достаточное усиление до детектора, лампу 6Е5С можно использовать одновремен-



Фиг. 60. Схема включения лампы 6Е5С в качестве сеточного детектора с обратной связью и индикатора настройки.



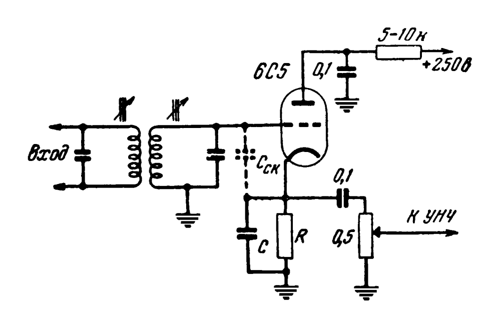
Фиг. 61. Схема включения лампы 6Е5С в качестве диодного детектора и индикатора настройки.

но как индикатор настройки и как диодный детектор, причем в качестве электродов диода используются сетка и катод лампы 6Е5С. Такая схема, предложенная М. Радуцким, приведена на фиг. 61 *. Автоматическая регулировка усиления здесь, понятно, задержки не имеет.

* „Радио“, 1953, № 2.

КАТОДНЫЙ ДЕТЕКТОР

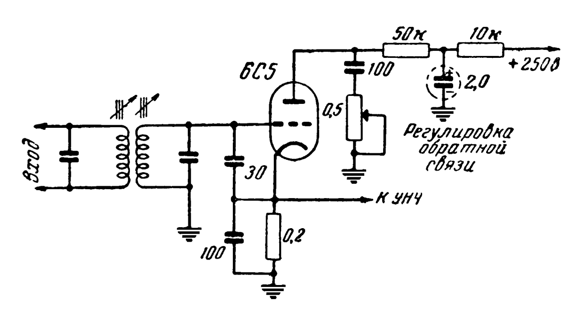
Другой интересной новой схемой является так называемый *катодный детектор*. Этот тип детектора, как и обычный диодный детектор, дает очень небольшие искажения сигналов и не боится перегрузок, но в отличие от диодного де-



Фиг. 62. Схема катодного детектора.

тектора он обладает высоким входным сопротивлением и слабо шунтирует предыдущий контур, не снижая усиления и избирательности предыдущего каскада.

Схема такого детектора приведена на фиг. 62. Здесь модулированное напряжение высокой частоты подается на



Фиг. 63. Схема регенеративного катодного детектора.

сетку и катод триода (например, 6С5) через конденсатор *C* емкостью 100—200 *пф*. Параллельно конденсатору включено сопротивление *R* в 0,5—0,3 *мгом*. Напряжение смещения, возникающее на сопротивлении *R*, сдвигает рабочую точку к нижнему перегибу характеристики анодного тока. Благодаря этому происходит анодное детектирование и в анодном токе лампы появляется составляющая звуковой частоты. Ток

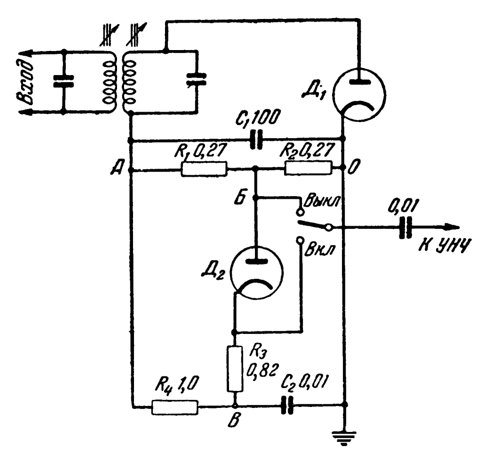
этой составляющей проходит по сопротивлению R и создает на нем звуковое напряжение, которое подается на усилитель низкой частоты.

Чувствительность катодного детектора имеет примерно такую же величину, как и у диодного детектора.

Если принять во внимание наличие междуэлектродной емкости $C_{с.к}$, то нетрудно видеть, что эта схема представляет собой обычный генератор с заземленным анодом и емкостной обратной связью. При уменьшении емкости C или при увеличении емкости $C_{с.к}$ такая схема начинает генерировать. Это позволяет использовать ее в качестве регенеративного детектора, который, однако, обладает меньшей чувствительностью, чем обычный сеточный регенеративный детектор. Схема регулировки обратной связи показана на фиг. 63.

ПОДАВИТЕЛИ ПОМЕХ

Большой интерес представляют схемы, позволяющие несколько ослабить воздействие импульсных помех на приемники амплитудной модуляции. Из большого количества



Фиг. 64. Схема последовательного шумоподавителя с автоматической установкой порога срезания помех.

предложенных для этой цели схем в любительской практике могут найти применение лишь наиболее простые. При этом предпочтительными являются подавители помех, не требующие каких-либо регулировок в зависимости от силы прини-

маемых сигналов. Рассмотрим схемы, удовлетворяющие этим требованиям.

Шумоподавитель, схема которого изображена на фиг. 64, срезает как шумы, так и полезные сигналы, уровень которых превышает уровень 40% модуляции. Понятно, что такой шумоподавитель вносит искажения в звучание передачи и может применяться лишь для связной радиотелефонии.

Чтобы понять, как работает эта схема, допустим, что на вход ее подается немодулированное напряжение несущей частоты. Диод $Д_1$ вместе с сопротивлениями R_1R_2 и конденсатором C_1 образует обычный диодный детектор. Пусть высокочастотное напряжение имеет такую величину, что выпрямленное напряжение на сопротивлениях R_1R_2 составляет 10 *в*. Поскольку сопротивления R_1R_2 имеют одинаковые величины, потенциал точки *Б* относительно «земли» составляет — 5 *в*. Напряжение, действующее на сопротивлении R_1, приложено к делителю, составленному из сопротивлений R_3R_4 и из диода $Д_2$. Катод диода при этом оказывается отрицательным по отношению к аноду и диод оказывается отпертым. При этом точка *В* имеет потенциал —7 *в* относительно «земли». Это напряжение (—7 *в*) заряжает конденсатор большой емкости C_2.

Пусть теперь на схему подаются модулированные колебания. При этом потенциал точки *Б* изменяется в соответствии с модуляцией около своего среднего значения —5 *в*. Вместе с тем потенциал точки *В* не может изменяться со звуковой частотой вследствие большой величины емкости C_2 и сопротивления R_4 и остается равным —7 *в*. Если в процессе модуляции потенциал точки *Б* станет ниже —7 *в*, что соответствует уровню модуляции в 40%, то анод диода $Д_2$ окажется отрицательным по отношению к его катоду и диод запрется.

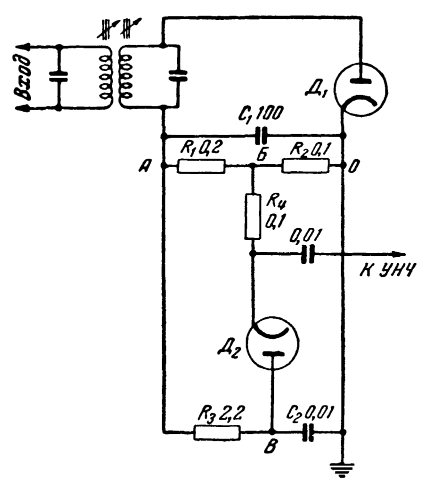
Напряжение на усилитель низкой частоты снимается с катода диода. При запирании последнего вход усилителя через сопротивление R_3 оказывается присоединенным к конденсатору C_2, напряжение на котором неизменно. Тем самым при превышении уровня 40% модуляции усилитель низкой частоты отсоединяется от выхода детектора.

Понятно, что при изменении средней амплитуды подаваемого на детектор высокочастотного напряжения все напряжения схемы соответственно изменяются, так что срезание помехи всегда происходит на уровне 40% модуляции. Этот уровень можно изменять, меняя соотношения сопротивлений R_1R_2 и R_3R_4.

Для выключения шумоподавителя вход усилителя низкой частоты присоединяется к аноду диода $Д_2$.

Другая схема шумоподавителя, изображенная на фиг. 65, носит название параллельной и тоже автоматически устанавливает уровень порога ограничения. В данной схеме ограничение происходит на уровне 100% модуляции. Это позволяет использовать ее в радиовещательных приемниках, а также делает ненужной установку выключателя ограничителя.

Рассмотрим работу этого шумоподавителя. Пусть выпрямленное немодулированное напряжение на сопротивлениях R_1R_2 тоже составляют 10 *в*, так что потенциал точки *А* относительно «земли» равен —10 *в*. Это напряжение через сопротивление R_3 заряжает конденсатор C_2 до потенциала —10 *в*. Потенциал точки *Б* при равных сопротивлениях R_1R_2 составляет —5 *в*. При этих условиях диод $Д_2$ оказывается запертым.



Фиг. 65. Схема параллельного шумоподавителя с автоматической установкой порога срабатывания.

Пусть теперь на схему действует модулированное напряжение высокой частоты. В этом случае потенциал точки *Б* изменяется в соответствии с модуляцией около своего среднего значения —5 *в*. Потенциал точки *В* остается неизменным и равным — 10 *в* вследствие большой величины сопротивления R_3 и конденсатора C_2. До тех пор, пока потенциал точки *Б* не опустится ниже —10 *в*, диод $Д_2$ остается запертым. В этом режиме вход усилителя низкой частоты оказывается присоединенным к точке *Б* через сопротивление R_4, так что на вход усилителя подается звуковое напряжение.

Если же под действием помехи потенциал точки *Б* опустится ниже —10 *в*, что соответствует уровню 100% модуляции, то диод $Д_2$ отопрется и напряжение, действующее на сопротивление R_2, будет попадать на вход усилителя низкой частоты через цепь R_4C_2. Вследствие большой емкости конденсатора C_2 это напряжение практически будет постоянным

и равным —10 *в*. Таким образом, импульс помехи будет ограничен на уровне 100% модуляции.

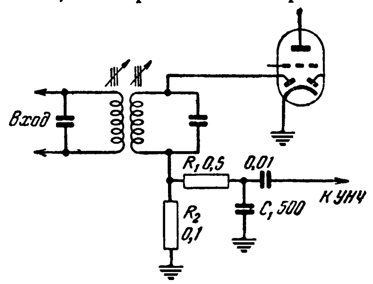
Как и в предыдущей схеме, изменение средней амплитуды приходящих высокочастотных сигналов вызовет здесь пропорциональное изменение всех напряжений, так что процентный уровень ограничения не изменится.

Изменяя соотношение сопротивлений R_1R_2, можно понизить уровень ограничения. В этом случае наиболее сильные сигналы будут восприниматься приемником с искажениями, но воздействие помех на него будет ослаблено.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ДЕТЕКТОР

Остановимся еще на одной интересной схеме детектора с повышенной помехоустойчивостью, которая была предложена О. Белавиным [1].

В этой схеме (фиг. 66) нагрузка детектора выполнена таким образом, что его выходное напряжение не может изменяться быстрее, чем это нужно для воспроизведения наиболее высокой частоты модуляции. Такой детектор меньше подвержен действию импульсных помех, чем обычно применяемые. Но чувствительность этого детектора получается невысокой, что заставляет увеличивать общее усиление приемника. Однако, несмотря на это, помехоустойчивый детектор получил большое распространение среди радиолюбителей.



Фиг. 66. Схема детектора с повышенной помехоустойчивостью.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРИЕМ СИГНАЛОВ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

В последние годы частотная модуляция находит все более широкое применение для передачи звукового сопровождения телевидения, а также в высококачественном местном радиовещании. В связи с этим была проведена большая работа, которая позволила сильно упростить конструкции приемников частотной модуляции и сделать их более пригодными для массового производства и самостоятельного изготовления радиолюбителями.

[1] „Радио", 1949, № 6.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХРЕГЕНЕРАТОРОВ

Выше мы уже рассматривали наиболее простой тип приемника частотной модуляции, который представляет собой одноламповый супергетеродин со сверхрегенеративным детектором. Такой приемник обладает высокой чувствительностью, слабо воспринимает помехи и обеспечивает удовлетворительное качество воспроизведения передач.

Как было указано, сверхрегенеративные приемники частотной модуляции можно выполнять и по схеме прямого усиления, без преобразования частоты принимаемых сигналов в промежуточную частоту. В этом случае для повышения чувствительности и для устранения излучения перед сверхрегенеративным каскадом необходимо ставить каскад усиления высокой частоты.

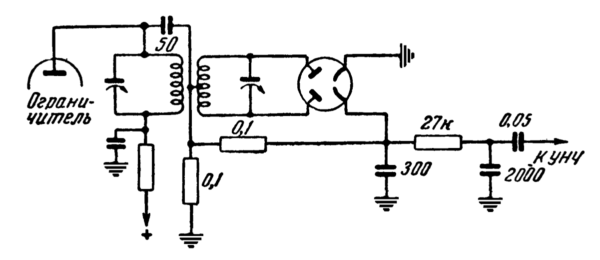
Однако при очень небольшом упрощении такие схемы сверхрегенераторов прямого усиления значительно уступают супергетеродинным сверхрегенераторам. Дело в том, что во всех этих схемах преобразование частотной модуляции в амплитудную модуляцию производится посредством расстроенного контура сверхрегенератора. Чтобы получаемая амплитудная модуляция была достаточно глубокой, наклонная часть резонансной кривой контура должна быть достаточно крутой, для чего вся резонансная кривая не должна быть чрезмерно широкой. В схемах прямого усиления контур работает на относительно высокой частоте сигнала, и его резонансная кривая оказывается шире, чем резонансная кривая контура, работающего на более низкой промежуточной частоте в супергетеродинной схеме. Желая сузить резонансную кривую контура и сделать ее боковые ветви более крутыми, в схемах прямого усиления можно лишь повышать добротность контура, что представляет немалые трудности. В супергетеродинном приемнике добиться того же результата можно гораздо проще, снижая промежуточную частоту. Поэтому в супергетеродинных сверхрегенеративных приемниках преобразование частотной модуляции в амплитудную можно сделать более эффективным, благодаря чему заметно увеличивается громкость приема и ослабляется влияние помех.

Заметим здесь, что очень сильно понижать промежуточную частоту и сужать резонансную кривую контура тоже нельзя. Действительно, для неискаженного приема необходимо, чтобы колебания частоты принимаемого сигнала с частотной модуляцией не выходили за пределы прямолиней-

ного участка ската резонансной кривой: следовательно, эта резонансная кривая не должна быть чрезмерно узкой. При контурах средней добротности наилучший прием радиовещания с частотной модуляцией получается при выборе промежуточной частоты порядка $15 \div 30$ *мггц*.

ЧАСТОТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Сверхрегенеративные схемы могут использоваться главным образом в тех случаях, когда простота является наиболее важным качеством приемника. Если же желательно полностью использовать все возможности частотной модуляции для получения высокохудожественного приема без помех, то следует применить приемник, построенный по обычной схеме супергетеродина со специальным частотным детектором (дискриминатором).



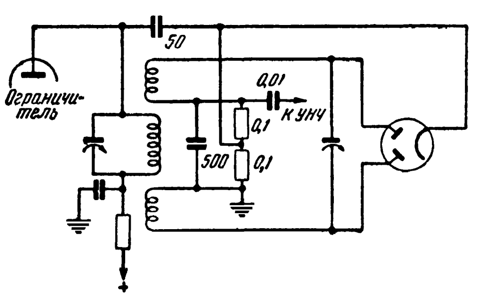
Фиг. 67. Обычная схема частотного детектора.

Наиболее распространенная схема частотного детектора изображена на фиг. 67. Одним из недостатков ее является необходимость использовать двойной диод с раздельными катодами. Свободна от этого недостатка схема частотного детектора, показанная на фиг. 68. По принципу действия эта схема не отличается от предыдущей, но в ней обмотка вторичного контура разделена на две половины, которые соединены конденсатором в 500 *пф*. Этот конденсатор обеспечивает соединение обмоток по высокой частоте и изолирует их по звуковой частоте. Нагрузочные сопротивления присоединены параллельно этому конденсатору. При таком изменении схемы катоды диодов могут быть объединены, однако заземлять их нельзя, что сильно ограничивает возможности применения комбинированных ламп.

Выходное напряжение частотных детекторов обычного типа зависит не только от частоты принимаемых колеба-

ний, но и от их амплитуды. В результате такой детектор воспринимает не только полезную частотную модуляцию, создаваемую передатчиком, но и вредную амплитудную модуляцию, создаваемую помехами, отчего на выходе приемника прослушиваются шумы и трески.

Для ослабления помех перед частотным детектором ставят специальный каскад — ограничитель амплитуды. Этот каскад уничтожает колебания амплитуды принимаемого сигнала прежде, чем он подается на частотный детектор.



Фиг. 68. Схема частотного детектора с общим катодом.

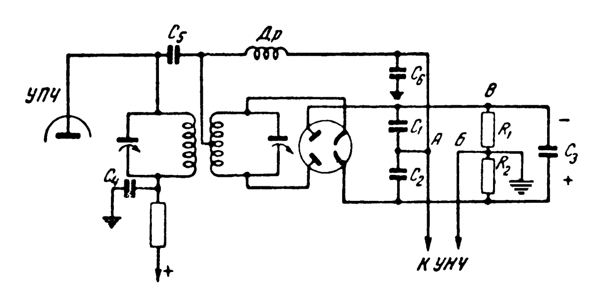
Для нормальной работы ограничителя амплитуды на вход его необходимо подавать довольно большое напряжение сигнала (порядка нескольких вольт). Поэтому, используя ограничитель, надо увеличивать усиление предшествующих каскадов. Такое увеличение усиления вместе с необходимостью иметь в схеме приемника ограничительный каскад сильно усложняет и удорожает конструкцию приемника.

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР

В последние годы был разработан новый тип частотного детектора, который называется *относительным* или *дробным*. Его особенность состоит в том, что он не воспринимает быстрых изменений амплитуды сигнала и поэтому не нуждается в ограничителе. Кроме того, для нормальной работы на вход такого детектора можно подавать гораздо более низкое напряжение, чем на вход ограничителя амплитуды. Это позволяет уменьшить усиление предшествующих каскадов и, таким образом, заметно упростить весь приемник.

Основная схема относительно частотного детектора изображена на фиг. 69. Как и в обычной схеме частотного детектора, в ней используются два индуктивно связанных

контура и соединения выполнены таким образом, что на каждом из диодов действует сумма высокочастотных напряжений, снимаемых с первичного контура и с разных половин вторичного контура (через конденсаторы C_4, C_5, C_6, C_1, C_2). Если частота принимаемых колебаний совпадает с резонансной частотой контуров, то эти высокочастотные напряжения на двух диодах оказываются одинаковыми по величине. При отклонениях принимаемой частоты от резо-



Фиг. 69. Основная схема относительного частотного детектора.

нансной в какую-либо сторону напряжение на одном из диодов увеличивается, а на другом уменьшается. Отклонение частоты в другую сторону вызывает увеличение напряжения на том диоде, на котором оно в предыдущем случае убывало, и наоборот.

Выпрямленный ток верхнего диода через верхнюю половину катушки вторичного контура и через дроссель заряжает конденсатор небольшой емкости C_1, а выпрямленный ток нижнего диода через нижнюю половину катушки вторичного контура и через тот же дроссель заряжает конденсатор C_2. Выпрямленное напряжение на конденсаторе C_1 приблизительно равняется амплитуде высокочастотного напряжения на верхнем диоде, а напряжение на нижнем конденсаторе C_2 приблизительно равняется амплитуде высокочастотного напряжения на нижнем диоде.

Параллельно конденсаторам C_1 и C_2 присоединен конденсатор C_3 с большой емкостью (несколько микрофарад). Этот конденсатор заряжается до напряжения, равного сумме напряжений на конденсаторах C_1 и C_2. Таким образом, напряжение на конденсаторе C_3 зависит от амплитуды принимаемого сигнала. Однако вследствие большой емкости конденсатора C_3 напряжение на нем, а вместе с тем и на конденсаторах C_1 и C_2 не может изменяться быстро. Это

позволяет сказать, что напряжение на конденсаторе C_3 определяется средним значением амплитуды принимаемого сигнала и не меняется при резких и кратковременных колебаниях этой амплитуды.

Следовательно, суммарное напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 определяется средним значением амплитуды принимаемого сигнала и не изменяется, если этот сигнал обладает амплитудной модуляцией, созданной помехами.

Параллельно этим конденсаторам включен делитель напряжения, состоящий из двух равных сопротивлений R_1 и R_2. Средняя точка этих сопротивлений (точка *Б*) заземляется и имеет нулевой потенциал.

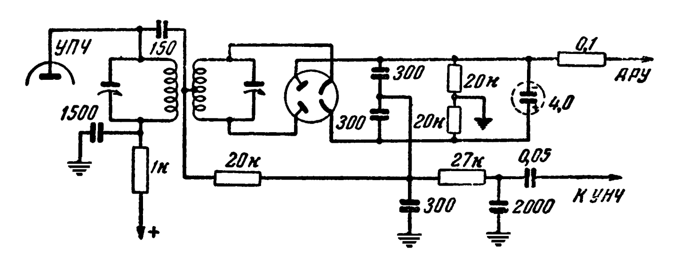
Пусть принимаемый сигнал имеет частоту, совпадающую с резонансной частотой контуров. В этом случае на оба диода подаются равные по величине высокочастотные напряжения и на конденсаторах C_1 и C_2 возникают равные по величине выпрямленные напряжения. Следовательно, суммарное выпрямленное напряжение, действующее на этих конденсаторах, делится между ними пополам. Поскольку сопротивления R_1 и R_2 тоже делят это напряжение пополам, между средней точкой конденсаторов C_1 и C_2 (точка *А*) и средней точкой сопротивлений (точка *Б*) никакой разности потенциалов нет. Если же частота колебаний будет отличаться от резонансной частоты контуров, то высокочастотные напряжения, подаваемые на диоды, будут различными. Соответственно изменятся и выпрямленные напряжения на конденсаторах C_1 и C_2 (на одном конденсаторе напряжение станет больше, а на другом меньше). При этом потенциал точки *А* изменится и между точками *А* и *Б* возникнет детектированное напряжение, величина и знак которого будут зависеть от величины и знака отклонения частоты сигнала от резонансной частоты контуров. Следовательно, напряжение между точками *А* и *Б* меняется в соответствии с модуляцией частоты.

Таким образом, сумма напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 определяется средней амплитудой сигнала и не зависит от шумовой амплитудной модуляции. Колебания частоты изменяют лишь отношение, в котором это напряжение делится между конденсаторами C_1 и C_2, благодаря чему изменяется разность потенциалов между точками *А* и *Б*. Названия такого детектора — относительный или дробный — подчеркивают эту особенность его работы.

Помимо того, что сопротивления R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, действующего на конденсаторе C_3, эти

сопротивления имеют в схеме относительного детектора еще одно назначение. Они создают цепь, через которую может медленно разряжаться конденсатор C_3. Если бы такой цепи не было, то при уменьшении амплитуды принимаемого сигнала на конденсаторе C_3 сохранилось бы большое напряжение, которое заперло бы диоды и нарушило работу относительного детектора.

Рассмотрение принципа действия этой схемы приводит к выводу, что величина выходного напряжения не зависит от резких изменений амплитуды принимаемых колебаний, за которыми не может следовать напряжение на конденсаторе C_3, но что выходное напряжение зависит от средней



Фиг. 70. Практическая схема относительного частотного детектора.

амплитуды принимаемых сигналов. Для того чтобы ослабить эту зависимость, в схемы приемников, использующих относительный детектор, вводят автоматическую регулировку усиления, причем регулирующее напряжение снимают с сопротивления R_1. Это напряжение равняется половине напряжения на конденсаторе C_3.

На фиг. 70 изображена одна из практически применяемых схем относительного детектора. В целях упрощения дроссель заменен сопротивлением в 20 *ком*. Выходное напряжение детектора подается на усилитель низкой частоты через цепь, состоящую из сопротивления в 27 *ком* и конденсатора емкостью 2 000 *пф*. Эта обязательная во всех приемниках частотной модуляции цепь ослабляет воспроизведение высших звуковых частот с целью уменьшения действия помех. Искажений звучания при этом не происходит, так как при передаче производится соответствующее подчеркивание высших звуковых частот модуляции.

Налаживание относительных детекторов производится следующим образом. Подав на вход напряжение промежуточной частоты, высокоомным вольтметром измеряют напря-

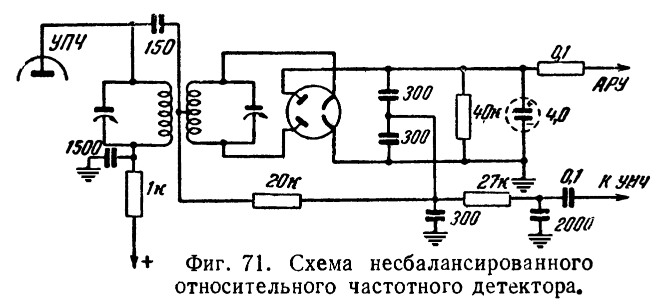
жение на сопротивлении R_1, т. е. между точками *Б* и *В* (фиг. 69), и настраивают контуры до достижения максимума этого напряжения. Затем, измеряя напряжение между точками *А* и *Б*, подстраивают вторичный контур до получения нулевого напряжения. После этого следует изменять частоту колебаний в обе стороны от резонансного значения и проверить, изменяется ли напряжение между точками *А* и *Б* пропорционально отклонениям частоты. Для радиовещательных приемников такая пропорциональность должна иметь место в пределах отклонений на $\pm 75 \div 100$ *кгц*. Несимметричность и нелинейность получаемой зависимости выходного напряжения от расстройки должна быть устранена путем подбора одинаковых величин сопротивлений R_1 и R_2 и емкостей C_1 и C_2, а также путем регулировки связи между первичным контуром и половинами катушки вторичного контура.

Надо указать, что подавление амплитудной модуляции в этой схеме сильно зависит от величин добротностей контуров. Наилучшее подавление амплитудной модуляции, а вместе с тем и помех достигается, если добротности первичного и вторичного контуров составляют при отсутствии нагрузки 70 и 90, а при наличии нагрузки — соответственно 40 и 20.

Для того чтобы измерить добротность первичного контура, надо параллельно ему через конденсатор в 2 *пф* присоединить ламповый вольтметр, вторичный контур расстроить, а лампу (двойной диод) вынуть из панельки. Подав на сетку предыдущей лампы напряжение от сигнал-генератора, надо снять резонансную кривую этого контура. Определив ширину полосы пропускания на уровне 0,7 от резонансной величины и поделив резонансную частоту на эту ширину, получим добротность ненагруженного первичного контура. Затем измеряется тем же способом добротность нагруженного контура при настроенном вторичном контуре и при вставленной в панель лампе (двойном диоде).

Чтобы определить добротность вторичного контура без нагрузки, надо отсоединить среднюю точку катушки, сопротивления R_1 и R_2 увеличить до 1 *мгом* каждое, а первичный контур зашунтировать сопротивлением порядка 5 *ком*. Измеряя вольтметром постоянного тока напряжение в точках *Б* и *В*, надо снять резонансную кривую вторичного контура и по ней определить добротность, как было указано выше. Добротность контура с нагрузкой измеряется тем же способом, но при нормальной величине сопротивлений R_1 и R_2.

Рассмотренный тип относительного детектора носит название *симметричного* или *сбалансированного*. На фиг. 71 изображена схема так называемого несбалансированного относительного частотного детектора. Она отличается от предыдущей лишь тем, что не имеет делителя напряжения, действующего на конденсаторе C_3. В несбалансированной схеме заземляется не средняя точка этого делителя, а одна из обкладок конденсатора C_3 (см. фиг. 69). Вместо делителя схема содержит лишь одно сопротивление для разряда конденсатора C_3. В результате такого соединения выходным напряжением детектора является напряжение, возникающее



Фиг. 71. Схема несбалансированного относительного частотного детектора.

на конденсаторе C_2. При подаче на детектор резонансной частоты это напряжение составляет половину суммарного напряжения, действующего на конденсаторе C_3, а при отклонениях частоты от резонансной в ту или другую сторону напряжение соответственно увеличивается или убывает. Достоинством такой схемы является двукратное увеличение напряжения автоматической регулировки усиления по сравнению с предыдущей схемой.

Для регулировки несбалансированной схемы параллельно конденсатору C_3 следует присоединить временный делитель напряжения из двух равных сопротивлений. После этого регулировку схемы можно производить так же, как и в случае сбалансированного детектора, присоединяя вольтметр сначала к концам делителя и настраивая контуры до получения максимума напряжения, а затем присоединяя его к средней точке конденсаторов C_1 и C_2 и к средней точке временного делителя и подстраивая вторичный контур до получения нулевого отсчета. После регулировки временный делитель напряжения отсоединяется.

Для относительного детектора, работающего на промежуточной частоте 4,3 *мггц* и включенного в анодную цепь лампы 6Ж4, типичны следующие данные:

Переменное напряжение сигнала на управляющей сетке лампы 6Ж4 равно 0,1 *в*.

Постоянное напряжение на конденсаторе C_3 равно 6 *в*.

Выходное звуковое напряжение при полной частотной модуляции, характеризуемой отклонениями частоты в ±75 *кгц*, равно 0,7 *в*

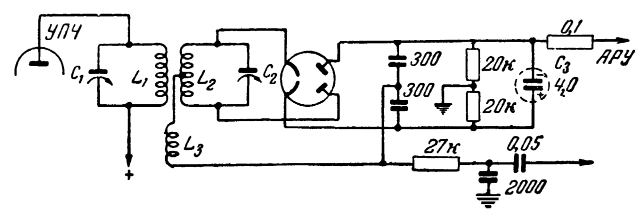
При использовании ламп с меньшей крутизной чувствительность детектора соответственно снижается.

Интересный вариант относительного частотного детектора предложен С. Зайцевым и В. Клибсоном [1]. Этот детектор выполняется по обычной сбалансированной схеме, рассмотренной выше, но вместо электродов двойного диода в нем используются сетки и катоды двойного триода 6Н9С. Аноды этого триода соединяются с трансформатором звуковой частоты по обычной схеме двухтактного усилителя. Такая схема позволяет экономить один каскад усиления низкой частоты.

ВАРИАНТЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СХЕМЫ ДЕТЕКТОРА

Остановимся на двух вариантах выполнения высокочастотной схемы частотных детекторов как обычных, так и относительных.

Вместо обычной схемы соединения первичного и вторичного контуров посредством конденсатора небольшой емкости



Фиг. 72. Вариант выполнения высокочастотной части схемы частотного детектора.

в последнее время широко используется более совершенная схема, изображенная на фиг. 72. Если в обычной схеме на каждый из диодов подается сумма высокочастотных напряжений, снимаемых с той или иной половины вторичного контура и с первичного контура, то в схеме фиг. 72 на диоды подается сумма напряжений, развиваемых на половинах вторичного контура и на дополнительной обмотке L_3, сильно

[1] „Радио", 1951, № 11.

связанной с первичным контуром. Такое соединение позволяет избавиться от дросселя и конденсатора, соединяющего контуры. Кроме того, изменяя число витков обмотки L_3 и ее связь с первичным контуром, можно подобрать такую величину возникающего на ней напряжения, которая обеспечит наиболее эффективную работу частотного детектора.

Для такой схемы важное значение имеет подбор величины связи катушек L_1L_2 и L_1L_3. Чтобы подобрать наивыгоднейшую величину этой связи, надо произвести следующие измерения.

Параллельно первичному контуру L_1C_1 через емкость в 2 *пф* присоединяется ламповый вольтметр, а параллельно конденсатору C_3 на выходе детектора — высокоомный вольтметр постоянного тока. Подав на вход схемы напряжение от сигнал-генератора и несколько расстроив контур L_2C_2, надо настроить контур L_1C_1 в резонанс с генератором и заметить показания вольтметров.

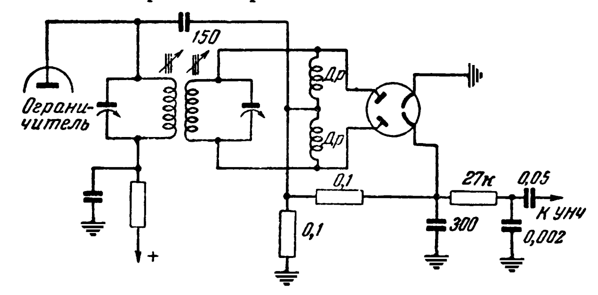
После этого вторичный контур L_2C_2 надо настроить в резонанс по минимальному показанию лампового вольтметра и вновь заметить показания приборов.

Если связь катушек L_1L_2 имеет требуемую величину, то первое показание лампового вольтметра должно быть примерно на 25% больше второго. Связь катушек L_1L_3 имеет требуемую величину, если второе показание вольтметра постоянного тока будет примерно на 20% больше первого.

В любительской практике много затруднений доставляет выполнение отвода от средней точки вторичного контура схемы частотного детектора. Для получения линейной зависимости выходного напряжения детектора от изменений частоты отвод должен быть выполнен таким образом, чтобы напряжения на обеих половинах вторичного контура были строго одинаковы. Для достижения этого приходится использовать симметричную конструкцию катушек, разделяя катушку вторичного контура на две половины и помещая их по бокам катушки первичного контура. Такая конструкция затрудняет подбор наивыгоднейшей связи контуров детектора и не позволяет использовать настройку сердечниками.

От этих недостатков свободна схема, предложенная В. Ивановым (фиг. 73). В ней используются обычные индуктивно связанные контуры без отводов, а средняя точка создается посредством делителя напряжения, состоящего из двух дросселей *Др*. В некоторых случаях удается вместо дросселей использовать сопротивления. На фиг. 73 показано

применение дросселей в схеме обычного частотного детектора, однако их с успехом можно использовать также в схеме относительного детектора. Другим возможным способом получения симметрии вторичной обмотки может быть на-



Фиг. 73. Получение средней точки вторичного контура посредством дроссельного делителя напряжения.

мотка ее половин двумя параллельно идущими проводами. В этом случае вторичную обмотку можно поместить с одной стороны от первичной и осуществлять их настройку магнитными сердечниками.

ПРИЕМНИК С ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ДЕТЕКТОРОМ

Чтобы показать, насколько несложным получается приемник частотной модуляции при использовании относительного детектора, приведем схему (фиг. 74), разработанную группой радиолюбителей в составе Г. Костанди, В. Яковлева, Е. Дрызго, Ю. Панова и Л. Саламатова[1]. Этот приемник не имеет собственного усилителя низкой частоты и выпрямителя. Выход его соединяется с гнездами «Звукосниматель» радиовещательного приемника, от которого производится также и питание рассматриваемой схемы.

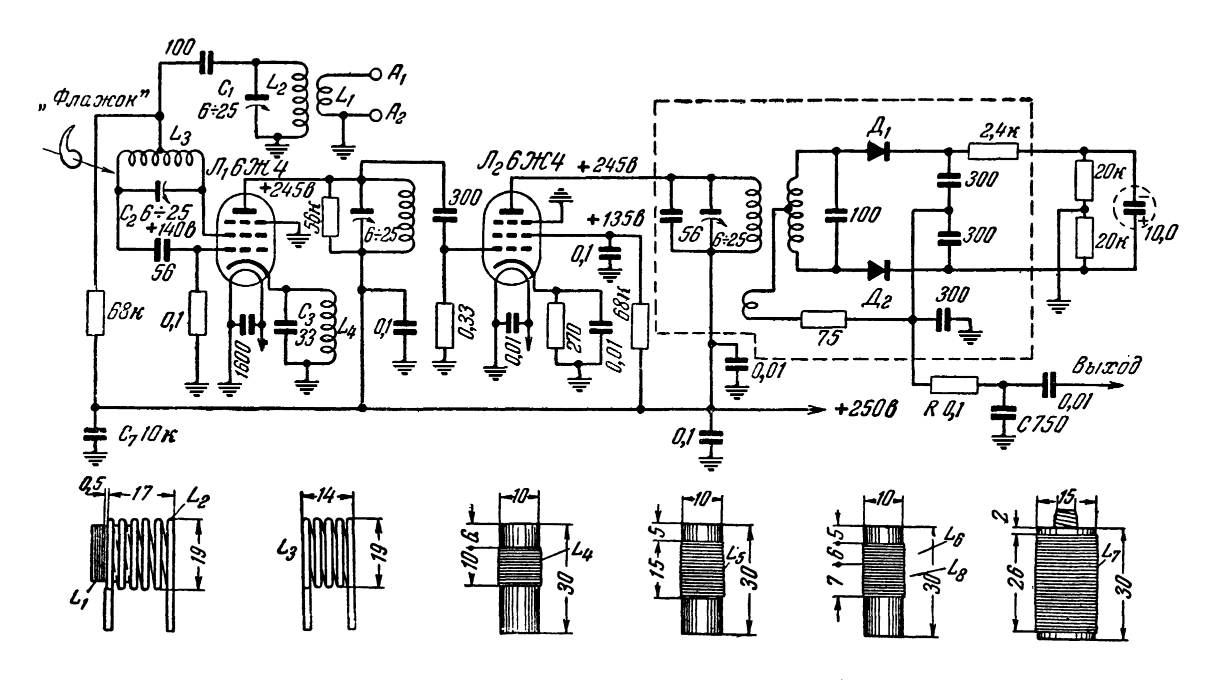
Изображенная на фиг. 74 схема содержит преобразователь частоты, каскад усиления промежуточной частоты и относительный детектор.

Преобразователь частоты выполнен по схеме односеточного преобразования с лампой $Л_1$. Напряжение сигнала на управляющую сетку этой лампы снимается с входного контура L_2C_1, индуктивно связанного с антенной катушкой L_1.

Гетеродин выполнен по трехточечной емкостной схеме, в которой используется та же лампа $Л_1$, причем анодом гетеродина служит экранная сетка лампы. Контур гетеро-

---

[1] „Радио", 1952, № 11.



Фиг. 74. Схема приемника частотной модуляции с отрицательным детектором.

Катушка L_1 содержит 6 витков ПЭЛШО 0,18, L_2 — 6 витков и L_3 — 5 витков посеребренного провода диаметром 2 *мм*, L_4 — 18 витков ПЭЛШО 0,35, L_5 — 75 витков ПЭЛШО 0,1, L_6 — 38 витков ПЭЛШО 0,1, L_7 — 18 + 18 витков ПЭЛШО 0,35 и L_8 — 13 витков ПЭЛШО 0,1; шаг намотки 0,18 *мм* (для получения такого шага намотка основного провода производится вместе с вспомогательным проводом ПЭЛШО 0,18, катушка проклеивается коллодием, после чего вспомогательный провод удаляется). Катушка L_8 намотана между витками катушки L_6. Обе половины катушки L_7 наматываются с принудительным шагом из сложенного вдвое провода, конец одной половины катушки соединяется с началом другой и к точке их соединения присоединяется конец катушки L_8. Катушки L_6 и L_7 помещаются на текстолитовой пластине параллельно друг другу, расстояние между их осями равно 23 *мм*.

дина состоит из катушки L_3 и подстроечного конденсатора C_2, с помощью которого производится грубая настройка приемника. Плавная настройка в пределах 0,3 *мггц* производится посредством латунного флажка, вдвигаемого между витками катушки гетеродина. При помощи конденсаторов C_1 и C_2 приемник может быть настроен на любую частоту в пределах $45 \div 57$ *мггц*

Для улучшения работы гетеродина в цепь катода включен контур L_4C_3. Его настройка не критична: резонансная частота этого контура может лежать в пределах от 10 до 17 *мггц*

Присоединение входного контура L_2C_1 к точке нулевого потенциала гетеродинного контура L_3C_2 резко ослабляет излучение антенны на частоте гетеродина.

Промежуточная частота приемника равна 4,5 *мггц*. Лампа $Л_2$ работает в схеме усилителя промежуточной частоты В анодную цепь ее включен первичный контур схемы относительного детектора.

Вместо диодов в этом детекторе используются германиевые диоды $Д_1$ и $Д_2$ типа ДГ-Ц1. В случае отсутствия германиевых диодов в схеме относительного детектора можно использовать лампу 6Х6С. Цепь RC служит для коррекции частотной характеристики приемника.

Испытания этой схемы показали очень высокое качество приема. Приводим результаты лабораторных испытаний:

Чувствительность при напряжении на выходе 0,25 *в* и при амплитуде качания частоты 75 *кгц* равна 200 *мкв*.

Уровень шумов при отсутствии модуляции по отношению к уровню сигнала равен —40 *дб*.

Ослабление приема при расстройке на ± 200 *кгц* равно 26 *дб*. Полоса пропускания до детектора на уровне —3 *дб* равна 80 *кгц*, на уровне —6 *дб* равна 250 *кгц* и на уровне —26 *дб* равна 400 *кгц*.

Ослабление зеркального канала равно 20 *дб*.

Ослабление сигнала с частотой, равной промежуточной, равно 46 *дб*.

Ширина линейной части характеристики частотного детектора равна 170 *кгц*.

Подавление амплитудной модуляции на центральной частоте равно 37 *дб и* при расстройке на ± 75 *кгц* равно 14,5 *дб*.

Коэффициент гармоник при полной модуляции равен 3,1%.

ИНДИКАТОРЫ НАСТРОЙКИ

В высококачественных приемниках частотной модуляции важное значение имеет точная настройка приемника на частоту принимаемого сигнала. Частотные детекторы могут осуществлять детектирование принимаемых колебаний даже в случае сильных расстроек, однако прием получается при этом искаженным. Искажения, вызываемые неточной настройкой, обычно бывают незаметны при передаче слабых звуков, но в моменты передачи громких звуков они проявляются очень сильно. Это обстоятельство затрудняет настройку на слух и делает желательным применение различных индикаторов точной настройки.

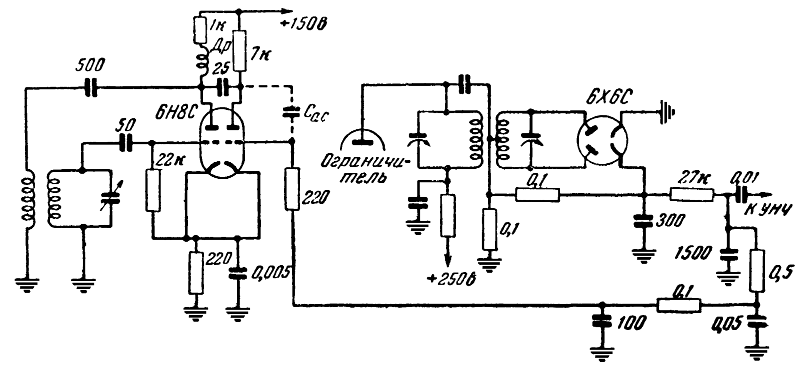
В приемниках, использующих относительный детектор и автоматическое регулирование усиления, устройство индикатора настройки не вызывает затруднений. В таких приемниках можно применять обычную лампу — индикатор 6Е5С, подавая на ее сетку напряжение автоматической регулировки усиления или включая ее так, как это было описано в гл. 1.

Сложнее обстоит дело в приемниках с обычными частотными детекторами и ограничителями амплитуды. В этих приемниках на лампу 6Е5С можно подавать постоянное напряжение, возникающее на сопротивлении утечки сетки ограничителя амплитуды, которое изменяется при настройке приемника. Другой способ состоит в том, что лампа 6Е5С включается по схеме сеточного детектора параллельно контуру в анодной цепи усилителя промежуточной частоты. Можно также использовать чувствительный гальванометр с нулем посередине шкалы, измеряющий постоянную составляющую напряжения на выходе частотного детектора. В этом случае точная настройка соответствует тому моменту, когда напряжение на выходе детектора, изменяясь от максимального значения одного знака к максимальному значению другого знака, проходит через нуль.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ

Наличие частотных детекторов в схемах приемников частотной модуляции позволяет без труда осуществлять в этих приемниках автоматическую подстройку частоты гетеродина. Действие автоматической подстройки основано на том, что при отклонении средней частоты принимаемых колебаний от резонансной частоты детектора, на выходе последнего, помимо звуковой, появляется постоянная со-

ставляющая напряжения, величина и знак которой зависят от величины и знака разности этих частот. Присоединив параллельно контуру гетеродина лампу-реактивность и подавая на нее в качестве напряжения смещения постоянную составляющую напряжения детектора, получим систему автоматической подстройки частоты. В этой системе отклонение средней промежуточной частоты от резонансной частоты детектора вызывает появление на выходе детектора напряжения, которое воздействует на лампу-реактивность и изменяет настройку гетеродина таким образом, чтобы



Фиг. 75 Схема автоматической подстройки частоты гетеродина.

приблизить среднюю промежуточную частоту к резонансной частоте детектора.

В таких схемах важно подавать на сетку лампы-реактивности в качестве напряжения смещения только постоянную составляющую напряжения детектора, но ни в коем случае не подавать звукового напряжения, так как это вызвало бы нежелательную частотную модуляцию гетеродина приемника. Отделение постоянной составляющей напряжения от звуковых составляющих производится при помощи фильтра, состоящего из больших сопротивлений и конденсаторов большой емкости.

На фиг. 75 изображена типичная схема автоматической подстройки частоты гетеродина. В этой схеме в гетеродине используется левая половина двойного триода 6Н8С. Правая половина его используется в качестве лампы-реактивности, причем для подачи напряжения высокой частоты из цепи анода на сетку лампы-реактивности служит емкость C_{ac} между этими электродами лампы.

В приведенной схеме применен обычный частотный детектор. С таким же успехом можно использовать и детектор относительного типа. Несбалансированный относительный детектор является менее удобным, так как его выходное напряжение содержит постоянную составляющую даже при точной настройке приемника. При изменениях силы принимаемых сигналов это напряжение меняется и в случае применения системы автоматической подстройки вызывает нежелательные отклонения частоты гетеродина. Если, однако, по условиям работы приемника можно не опасаться колебаний силы принимаемых сигналов, то несбалансированный детектор вполне может использоваться в системе автоматической подстройки. При этом напряжение смещения реактивной лампы следует уменьшить на величину постоянной составляющей выходного напряжения детектора при точной настройке.

При налаживании систем автоматической подстройки частоты следует иметь в виду, что для правильного действия системы необходимо правильно выбрать полярность регулирующей частоту постоянной составляющей выходного напряжения частотного детектора.

В случае неправильного выбора этой полярности вместо автоматической подстройки частоты будет иметь место сильная расстройка гетеродина. Изменение полярности регулирующего напряжения проще всего осуществить, переключая концы вторичной обмотки трансформатора промежуточной частоты, используемого в схеме частотного детектора.

Системы автоматической подстройки частоты наиболее целесообразно использовать в приемниках с фиксированными настройками на небольшое число станций. Понятно, что эти системы могут быть применены и в приемниках амплитудной модуляции. Однако необходимость при осуществлении автоподстройки вводить в эти приемники частотные детекторы приводит к большому усложнению приемников.

КВАДРАТУРНЫЙ ДЕТЕКТОР

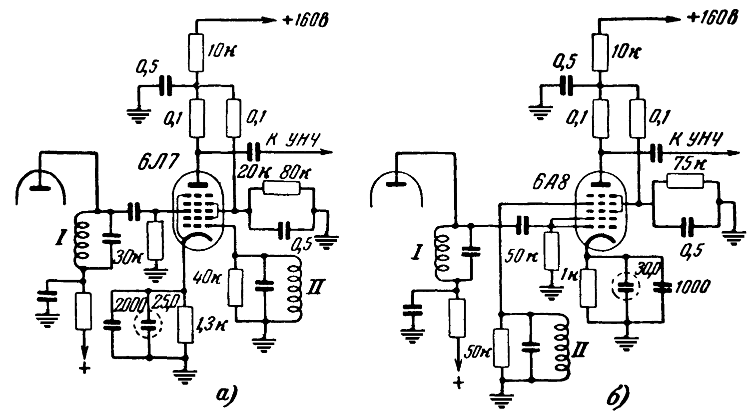
Интересную разновидность детекторов частотной модуляции представляет описанный В. Король так называемый *квадратурный детектор,* схема которого приведена на фиг. 76,*а* *. Основное отличие ее от схем, рассмотренных выше, состоит в использовании многосеточной лампы типа

---

* „Радио“ 1950, № 10.

6Л7 вместо двух диодов и в том, что контуры здесь имеют не индуктивную, а внешнюю емкостную связь.

Как и в обычной схеме частотного детектора, здесь имеются два слабо связанных контура *I* и *II*, настроенных на центральную частоту принимаемого сигнала. Контур *I* включается в анодную цепь лампы предыдущего каскада и напряжение с него подается на гетеродинную сетку лампы 6Л7. Контур *II* включается в цепь сигнальной сетки этой лампы. При таком включении контуры оказываются слабо связанными через распределенную емкость, действующую между сигнальной и гетеродинной сетками. Во избе-



Фиг. 76. Схемы квадратурного детектора.

жание возникновения других нежелательных связей контуры *I* и *II* должны быть хорошо экранированы один от другого.

Здесь, как и в обычной схеме частотного детектора, если частота колебаний совпадает с резонансной частотой контуров, то напряжения на контурах *I* и *II* оказываются сдвинутыми по фазе на 90°. Про такие напряжения говорят, что они находятся в квадратуре, откуда и происходит название «квадратурный детектор». При отклонении частоты колебаний от резонансной частоты контуров в одну сторону фазовый сдвиг делается больше 90°, т. е. напряжения приближаются к противофазным, а при отклонении частоты в другую сторону фазовый сдвиг делается меньше 90°, т. е. напряжения приближаются к синфазным.

Лампа 6Л7 в этой схеме работает в режиме анодного детектирования. Выпрямленный ток в ее анодной цепи уве-

личивается, когда напряжения на сигнальной и гетеродинной сетках приближаются к синфазным, т. е. когда частота колебаний отклоняется в одну сторону от резонансной, и уменьшается, когда эти напряжения приближаются к противофазным (когда частота отклоняется в другую сторону). Поэтому напряжение на сопротивлении, включенном в анодную цепь, изменяется в соответствии с изменениями частоты колебаний при частотной модуляции.

Если подаваемое на вход этой схемы напряжение имеет достаточно большую величину (порядка 2—3 *в*), а напряжение на экранных сетках невелико, то лампа наряду с детектированием частотной модуляции производит одновременно ограничение амплитуды, делая детектор невосприимчивым к шумовой амплитудной модуляции принимаемых колебаний. Надо, однако, заметить, что получение такого большого напряжения на входе детектора затруднительно. Обычно в этой схеме режим ограничения не достигается, вследствие чего приемник частотной модуляции с таким детектором оказывается более восприимчивым к помехам, чем приемники с самоограничивающими относительными детекторами.

Чтобы характеристика этого детектора была линейной в пределах наибольшего качания частоты принимаемых сигналов, необходимо соответствующим образом выбрать добротности контуров *I* и *II*, что достигается подбором шунтирующих сопротивлений. Налаживание схемы сводится поэтому к настройке контуров *I* и *II* в резонанс на центральную частоту принимаемого сигнала и к подбору шунтирующих сопротивлений.

На фиг. 76,*б* приведен вариант схемы квадратурного детектора с лампой 6А8.

ПРИЕМНИК С КВАДРАТУРНЫМ ДЕТЕКТОРОМ

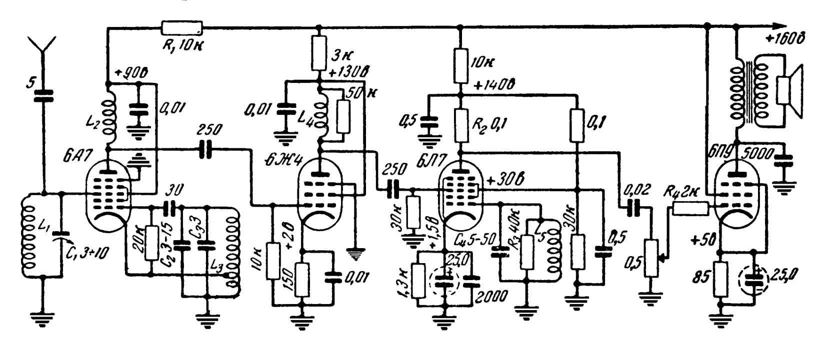
На фиг. 77 приведена схема приемника с квадратурным детектором, описанного Л. Троицким [1]. Это четырехламповый супергетеродин с одним каскадом усиления промежуточной частоты. В преобразовательном каскаде используется лампа 6А7, а в усилителе промежуточной частоты работает лампа 6Ж4. Третья лампа 6Л7 используется в схеме квадратурного детектора. Возникающее на сопротивлении R_2 звуковое напряжение усиливается выходным каска-

---

[1] „Радио", 1950 № 10.

дом с лампой 6П9. Сопротивлёние R_4 повышает устойчивость работы выходного каскада.

Для приема звукового сопровождения телевизионных передач катушки приемника должны иметь следующие данные. Катушка L_1 диаметром 15 *мм* состоит из пяти витков голого медного провода диаметром 1,2 *мм* с шагом намотки 1 *мм*. Катушка L_3 того же диаметра содержит 4,75 витков того же провода и намотана с таким же шагом. Отвод делается от 1,75 витка, считая от заземленного конца катушки. Катушки L_2 и L_4 наматываются в один ряд на каркасах диаметром 9 *мм* и длиной 25 *мм* с подвижными латун-



Фиг. 77. Схема приемника с квадратурным детектором.

ными сердечниками для настройки. Катушка L_2 имеет 45 витков ПЭШО 0,15, а катушка L_3 — 30 витков того же провода. Катушка L_5 намотана в один ряд на керамическом или полистироловом каркасе диаметром 10 *мм* и длиной 25 *мм*. Она имеет 25 витков ПЭ 0,25.

Конденсатор C_2 состоит из двух неподвижных и одной подвижной пластины с радиусом 18 *мм* и с расстоянием между пластинами 1,5 *мм*.

Катушки $L_2 L_5$, сопротивление R_3 и конденсатор C_4 располагаются сверху металлического шасси, остальные детали располагаются под ним.

Налаживание приемника следует начать с проверки режима работы всех ламп. Затем необходимо проверить, работает ли гетеродин. Если при прикосновении к гетеродинной сетке лампы 6А7 напряжение на ее экранной сетке упадет до 55—60 *в*, то гетеродин исправен. В противном случае необходимо увеличить напряжение на экранной сетке лампы 6А7, уменьшив сопротивление R_1, или сделать отвод к катоду от большего числа витков катушки.

После этого производится настройка контуров, образуемых катушками L_2 и L_4 вместе с распределенными емкостями, на промежуточную частоту 10,5 *мггц*. Для этого временно отключается контур L_5C_4, но сопротивление R_3 остается включенным. Подав на управляющую сетку лампы 6Ж4 от сигнал-генератора амплитудно-модулированное напряжение с частотой 10,5 *мггц*, настраивают катушку L_4, добиваясь максимума напряжения (громкости) на выходе приемника. Затем, отсоединив контур L_1C_1, подают на сетку лампы 6А7 напряжение от сигнал-генератора и производят настройку катушки L_2.

После такой настройки контур L_5C_4 присоединяют к лампе 6Л7 и путем изменения емкости C_4 настраивают его на частоту 10,5 *мггц*. При вращении конденсатора C_4 выходное напряжение (громкость) сначала растет, потом достигает минимума и затем снова возрастает. Конденсатор необходимо установить в положение, соответствующее минимуму громкости.

Контуры гетеродина $L_3C_2C_3$ и входной цепи L_1C_1 настраивают обычным способом по максимуму громкости при приеме частотно-модулированной передачи.

При отсутствии сигнал-генератора настройку можно произвести по сигналам частотно-модулированного передатчика. При этом контуры L_1C_1, $L_3C_2C_3$, L_2 и L_4 настраиваются на максимум громкости передачи, а контур L_5C_4 — на минимум искажений и на минимум фона в моменты пауз передачи.

ГЛАВА ПЯТАЯ

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРИЕМНИКИ СИГНАЛОВ АМПЛИТУДНОЙ И ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Появление радиовещательных передатчиков с частотной модуляцией вызвало необходимость создания комбинированных приемников, пригодных для приема передач как с амплитудной, так и с частотной модуляцией. Разработка таких приемников встречает ряд затруднений. Эти затруднения вызываются прежде всего тем, что передачи с амплитудной модуляцией ведутся в диапазонах длинных, средних и коротких волн, тогда как передачи с частотной модуляцией производятся в диапазоне ультракоротких волн.

Далее, полоса пропускания высокочастотной части приемника амплитудной модуляции должна иметь ширину 8—10 *кгц*, тогда как для приема радиовещания с частотной

модуляцией необходима полоса в 160—200 *кгц*. Кроме того, для приема этих различных видов модуляции необходимы различные детекторы. Наконец, и усилитель низкой частоты при приеме амплитудной модуляции должен иметь полосу пропускания не шире 4—5 *кгц*, тогда как при приеме частотной модуляции эту полосу желательно расширить до 12—15 *кгц*.

Все эти обстоятельства затрудняют создание комбинированных приемников амплитудной и частотной модуляции. Однако в последние годы был разработан ряд удачных конструкций таких приемников.

Простейшие комбинированные приемники представляют собой объединение на одном шасси схемы обычного приемника амплитудной модуляции с одной из рассмотренных выше несложных схем для приема частотной модуляции, в которой используются отдельные лампы.

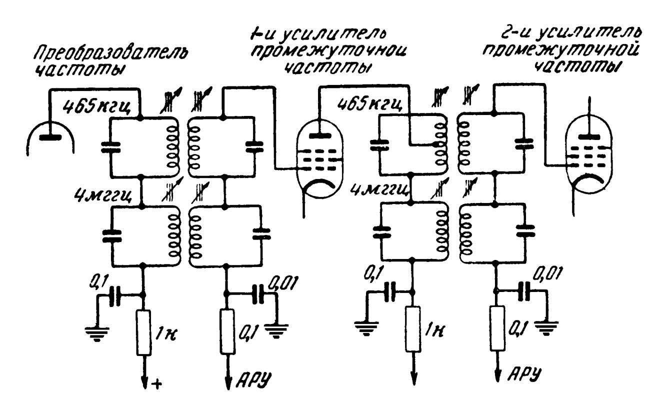
Таким образом, по существу объединяются два различных приемника, использующих общие источники питания, усилитель низкой частоты и громкоговоритель. Включение в работу того или иного приемника осуществляется переключателем диапазонов. Этот способ является наиболее простым, однако он приводит к увеличению числа ламп в приемнике, а в случае использования простейших сверхрегенеративных схем для приема частотно-модулированных передач он не позволяет в полной мере использовать высокое качество последних.

Другое возможное решение состоит в следующем. Строится всеволновый супергетеродин, который в диапазонах длинных, средних и коротких волн принимает амплитудную модуляцию, а при включении диапазона ультракоротких волн превращается в приемник частотной модуляции. Входные цепи и первые каскады такого приемника не имеют никаких особенностей, если не считать того, что в диапазоне ультракоротких волн полоса пропускания преселектора должна быть не у́же 200 *кгц*, что впрочем обычно имеет место, даже если не принимать каких-либо особых мер для получения широкой полосы.

Гетеродин приемника выполняется таким образом, чтобы при работе в диапазонах длинных, средних и коротких волн получалась обычная промежуточная частота в 465 *кгц*. В диапазоне ультракоротких волн гетеродин настраивается так, чтобы промежуточная частота получалась более высокой — порядка 2—8 *мггц*. В анодную цепь преобразователя частоты, а также в последующие каскады усиления про-

межуточной частоты включаются последовательно фильтры промежуточной частоты в 465 *кгц* и промежуточной частоты 2—3 *мггц* (фиг. 78).

Для получения необходимого усиления в каскадах промежуточной частоты обычно применяют лампы с повышенной крутизной. При этом во избежание самовозбуждения фильтр низшей промежуточной частоты часто включается в анодную цепь лампы как автотрансформатор. Последний фильтр промежуточной частоты 465 *кгц* включается в схему обычного диодного детектора амплитудной модуляции,



Фиг. 78. Схема включения контуров низкой и высокой промежуточной частоты в комбинированном приемнике амплитудной и частотной модуляции.

а последний фильтр высокой промежуточной частоты используется в схеме относительного детектора частотной модуляции.

При таком включении одни и те же лампы служат как для усиления промежуточной частоты 465 *кгц* с узкой полосой пропускания при приеме амплитудной модуляции, так и для усиления высокой промежуточной частоты с широкой полосой пропускания при приеме частотной модуляции. При усилении той или иной промежуточной частоты резонируют контуры соответствующих фильтров, тогда как включенные последовательно с ними контуры фильтров другой промежуточной частоты оказываются сильно расстроенными и на работу схемы влияния не оказывают.

В таком приемнике для перехода от одного вида модуляции к другому, помимо обычных диапазонных переключений, необходимо вход усилителя низкой частоты и про-

вод, подающий напряжение автоматической регулировки усиления на сетки регулируемых ламп, присоединять либо к детектору амплитудной модуляции, либо же к детектору частотной модуляции. В случае применения широкополосного усилителя низкой частоты при приеме амплитудной модуляции в него необходимо включать фильтр, срезающий высшие звуковые частоты.

В качестве примера рассмотрим схему комбинированного приемника амплитудной и частотной модуляции, разработанного В. Кушниром (фиг. 79) *.

Входная цепь приемника в диапазонах длинных, средних и коротких волн — настраиваемая, а в диапазоне ультракоротких волн — ненастраиваемая. Усилитель радиочастотных колебаний с лампой $Л_1$ типа 6Ж4 имеет анодную нагрузку в виде ненастраиваемой корректированной цепи. В диапазоне ультракоротких волн последовательно с ней включается настраиваемый контур. Схема переключений позволяет использовать одну и ту же секцию блока конденсаторов переменной емкости как для настройки входного контура на длинных, средних и коротких волнах, так и для настройки анодного контура в диапазоне ультракоротких волн.

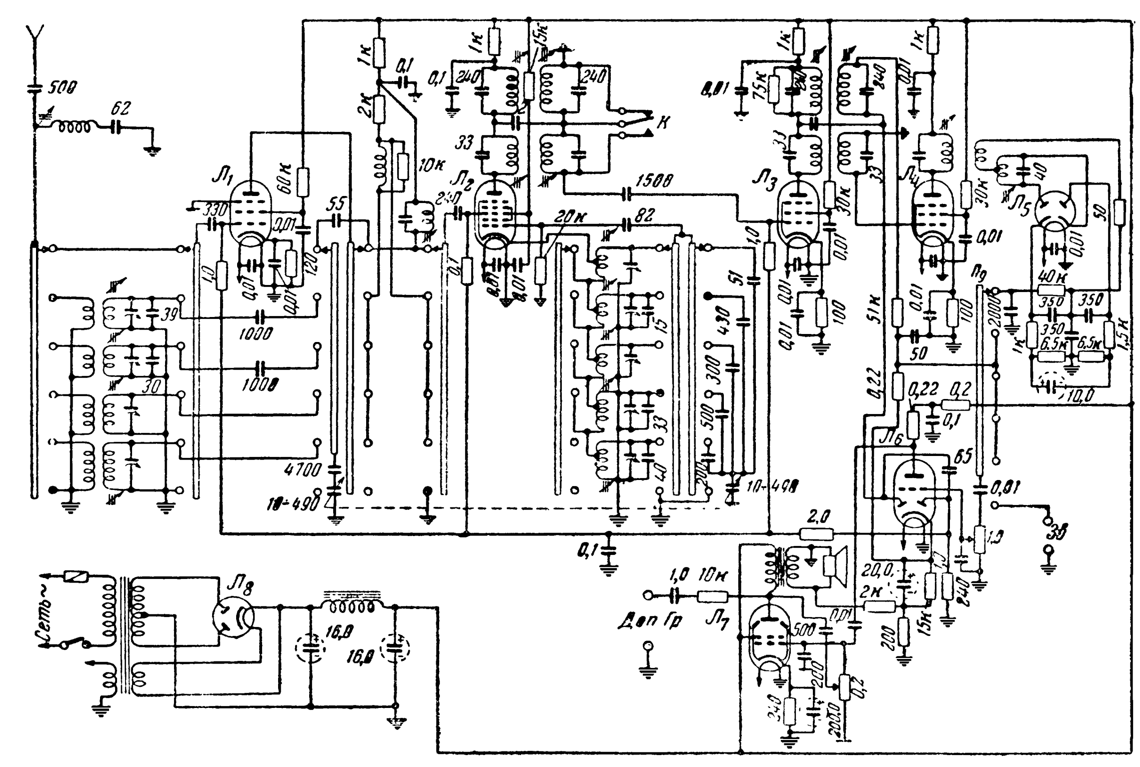
Преобразовательный каскад выполнен по обычной схеме с лампой $Л_2$ типа 6А7. В анодную цепь этой лампы включены последовательно фильтры на промежуточные частоты 465 *кгц* и 8,5 *мггц*.

Усилитель промежуточной частоты работает с лампой $Л_3$ типа 6К4, в анодную цепь которой включены такие же два фильтра. Вторичный контур фильтра, настроенного на частоту 465 *кгц*, соединен с амплитудным детектором, в схеме которого используется один диод лампы $Л_6$ типа 6Г2. Второй диод работает в схеме детектора автоматической регулировки усиления, а триодная часть этой лампы используется для предварительного усиления низкой частоты.

Выход фильтра, настроенного на промежуточную частоту 8,5 *мггц*, соединен с управляющей сеткой лампы типа 6К4, которая работает в схеме дополнительного каскада усиления промежуточной частоты 8,5 *мггц*. В анодную цепь этой лампы включен первичный контур относительного детектора частотной модуляции, в схеме которого работает лампа $Л_5$ типа 6Х6С.

---

* „Радио“, 1951, № 5.



Фиг. 79. Схема комбинированного приемника амплитудной и частотной модуляции.

Предварительный усилитель низкой частоты может присоединяться к выходу либо амплитудного, либо частотного детектора. Лампа $Л_7$ типа 6П6С используется в выходном каскаде.

Для большей надежности работы схемы ключ *К*, связанный с переключателем диапазонов, замыкает неиспользуемый фильтр промежуточной частоты.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Современные радиовещательные станции, особенно работающие с частотной модуляцией, ведут передачи очень высокого качества. В этих условиях естественность звучания приемника определяется почти исключительно конструкцией последнего. Поскольку в настоящее время радиослушатели считают естественное художественное звучание наиболее важным достоинством радиовещательного приемника, конструкторы уделяют много внимания разработке усилителей низкой частоты, громкоговорителей и акустике ящиков приемников.

Надо подчеркнуть, что наиболее «слабым» звеном низкочастотного тракта является громкоговоритель. Поэтому большое значение имеют все мероприятия, позволяющие улучшить работу громкоговорителей.

ВЫБОР ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ

Долгое время считалось, что для неискаженной работы громкоговоритель должен иметь достаточный запас мощности. Поэтому, а также стремясь к улучшению воспроизведения низких звуковых частот, в высококачественных установках обычно использовались громкоговорители больших размеров.

Однако исследования последних лет показали, что такие громкоговорители обладают рядом недостатков. Сложные изгибы диффузора большого диаметра вызывают появление высших гармоник воспроизводимых звуков, т. е. вызывают появление нелинейных искажений. Кроме того, подвижные части таких громкоговорителей представляют собой механическую колебательную систему с низкой резонансной частотой и с малым затуханием. При воспроизведении

какого-либо короткого звука такая система раскачивается довольно долго и продолжает затем колебаться длительное время после окончания действия электрического сигнала. Это создает искажения особого типа, называемые *переходными.*

Для устранения этих явлений в современных установках предпочитают использовать несколько громкоговорителей небольших размеров вместо одного большого. В простейшем случае эти громкоговорители включаются параллельно один другому на вторичную обмотку соответственно подобранного выходного трансформатора. В более сложных схемах выходной трансформатор имеет для каждого громкоговорителя отдельную обмотку.

При параллельной работе громкоговорителей необходимо, чтобы создаваемые ими звуковые колебания совпадали по фазе, так как иначе звук получается слабым и искаженным. Добиться синфазной работы можно путем переключения концов звуковых катушек громкоговорителей.

РАЗДЕЛЬНОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Создание громкоговорителя, одинаково хорошо воспроизводящего звуковые колебания как низких, так и высоких частот, представляет серьезные трудности. Поэтому некоторое распространение получили системы, в которых используются два громкоговорителя, причем один из них конструируется в расчете на воспроизведение низких, а другой — высоких звуковых частот. Это позволяет выравнять общую частотную характеристику, а также уменьшить переходные и нелинейные искажения.

Однако все эти преимущества в значительной степени теряются вследствие необходимости присоединять такие громкоговорители к выходу усилителя через особые разделительные фильтры, пропускающие к каждому громкоговорителю колебания лишь тех частот, на которые он рассчитан. Такие фильтры ухудшают согласование громкоговорителей с выходом усилителя, искажают результирующую частотную характеристику в области средних частот, близких к границе раздела, увеличивают переходные искажения.

Поэтому большой интерес представляет система высококачественного воспроизведения звука, в которой разделение диапазона звуковых частот на две полосы производится не на выходе усилителя, а на его входе.

В такой системе звуковой сигнал сначала поступает на разделительное устройство, разделяющее его спектр на две полосы частот. Каждая из этих полос затем усиливается специально рассчитанными усилителями и подается на громкоговоритель, тоже рассчитанный на воспроизведение этой полосы частот.

Использование такой системы позволяет избавиться от разделительного фильтра на выходе усилителя, который вносит искажения и ухудшает согласование громкоговорителей с выходом усилителя. Далее, в этой системе резко сокращаются нелинейные и в особенности комбинационные искажения. Разделительный фильтр на входе усилителя можно сделать с более выгодной формой частотной характеристики, что улучшает работу всей системы в области средних частот, близких к границе раздела полос.

При всех достоинствах этой системы она оказывается весьма сложной. Поэтому в любительских устройствах следует добиваться высокого качества звучания, не применяя разделения частотных полос на входе усилителя. Разделение их на выходе усилителя, несмотря на более простую конструкцию, рекомендовать также нельзя вследствие указанных выше недостатков.

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Рассмотрим способы, позволяющие улучшить работу громкоговорителей. Эти способы дают очень существенное улучшение качества звучания, поэтому их надо возможно шире использовать в любительской практике.

Ящики громкоговорителей. Остановимся на механических способах улучшения работы громкоговорителей. Они сводятся главным образом к правильному конструированию ящика приемника. Применяемые обычно ящики с открытой задней стенкой обладают рядом серьезных недостатков. Прежде всего заключенный в них воздух оказывает слабое сопротивление движению диффузора громкоговорителя, в результате чего резонансы последнего делаются очень заметными, ухудшается частотная характеристика приемника и легко наступают перегрузки, приводящие к нелинейным искажениям. Далее, это сопротивление воздуха движению диффузора меняется с частотой и громкостью, что меняет эквивалентное сопротивление громкоговорителя и нарушает его согласование с усилителем. Это тоже приводит к появлению искажений. Объем воздуха, заключенный внутри ящика, обычно резонирует на частоте $100 \div 200$ *гц*. В ящиках

малых размеров очень плохо воспроизводятся низкие частоты из-за того, что звуковые волны, возникающие внутри ящика и имеющие одну фазу, компенсируются противофазными наружными волнами. Наконец, звучание приемника зависит от того, насколько далеко находится открытая сторона ящика от стены комнаты.

Для устранения этих неприятных явлений в последнее время все более широко применяются специальные конструкции ящиков.

Заметное улучшение звучания может быть достигнуто установкой глухой задней стены ящика. При этом воздух, заключенный внутри ящика, оказывает сильное сопротивление колебаниям диффузора и резонанс последнего делается менее заметным. Вместе с тем улучшается воспроизведение нижних звуковых частот. Однако такая система хорошо работает только при достаточно больших размерах ящика. В табл. 2 даны размеры ящиков для нескольких громкоговорителей.

Таблица 2

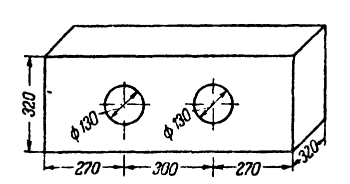
Мощность, *вт*	Воспроизводимые частоты, *гц*	Диаметр и глубина диффузора динамика, *мм*	Размеры ящика (внутренние) высота, ширина, глубина, *мм*
До 8	70÷13 000	200 80	400×500×260
15	60÷10 000	250 90	450×550×260
20	60÷10 000	300 90	500×600×300

На фиг. 80 изображен эскиз ящика для двух громкоговорителей с диаметром диффузоров 150 *мм*.

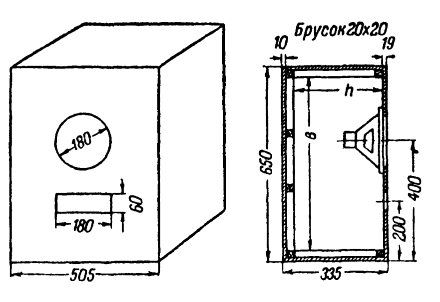
Для получения наилучших результатов ящики должны иметь достаточно жесткую конструкцию; изнутри их следует обить каким-либо мягким звукопоглощающим материалом. При использовании 10-*мм* фанеры для устранения вибрации стенок их следует укрепить изнутри деревянными планками, поверх которых можно прикрепить обивку, оставив между нею и стенками воздушную прослойку.

Еще лучшие результаты может дать ящик с отверстием в передней стенке неподалеку от громкоговорителя. Размеры ящика и отверстия подбираются такими, чтобы излучение звука из отверстия, создаваемое задней стороной

громкоговорителя, совпадало по фазе с излучением передней его стороны. Такое акустическое фазоинвертерное устройство резко улучшает воспроизведение низких звуковых частот и выравнивает частотную характеристику громкоговорителя.

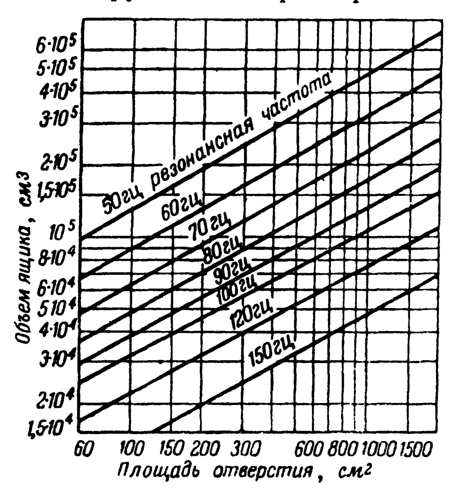


Фиг. 80. Ящик для двух громкоговорителей.



Фиг. 81. Ящик с дополнительным отверстием под динамический громкоговоритель ДД-3.

Размеры такого ящика для громкоговорителя типа ДД-3 приведены на фиг. 81. При использовании громкоговорителей другого типа размеры конструкции нужно изменить.



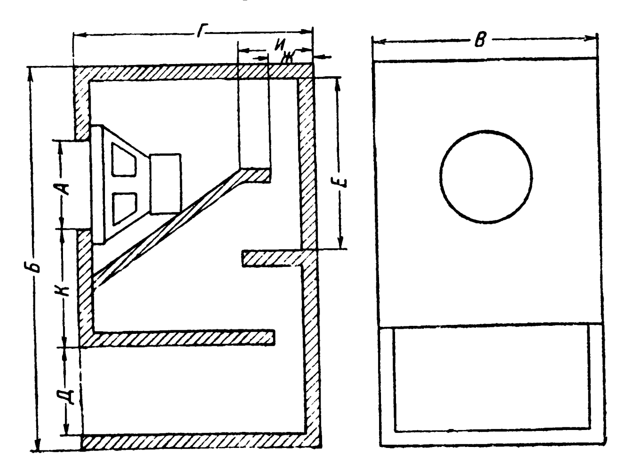
Фиг. 82. График для определения объема ящика с дополнительным отверстием.

Для расчета размеров необходимо определить площадь переднего отверстия громкоговорителя. Площадь отверстия в передней части ящика должна равняться половине площади отверстия громкоговорителя. Затем определяют объем ящика по графику фиг. 82, выбрав на нем кривую, соответствующую частоте резонанса громкоговорителя. Если эта частота неизвестна, то ее можно определить, подавая на громкоговоритель различные звуковые частоты и отмечая ту частоту, на которой колебания диффузора оказываются наибольшими (при этом громкоговоритель следует вынуть из ящика). Зная необходимый

объем, нетрудно затем определить размеры ящика, сделав поправку на объем самого громкоговорителя.

Для устранения ошибок расчета отверстие полезно сделать больше расчетного и изменять его величину при помощи подвижной заслонки, добиваясь наилучшего звучания.

Конструкция такого ящика тоже должна быть жесткой, а его боковые и задние стенки изнутри следует покрыть звукопоглощающим материалом.



Фиг. 83. Конструкция акустического лабиринта.

Более сложные конструкции акустических лабиринтов работают почти так же, как и описанные простые акустические системы, но размеры лабиринтов получаются меньше. На фиг. 83 изображена конструкция одного из лабиринтов, а в табл. 3 даны его размеры (в *мм*) для различных громкоговорителей.

Все внутренние стенки лабиринта должны быть покрыты звукопоглощающим материалом.

Таблица 3

Наружный диаметр громкоговорителя	*А*	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*И*	*К*	Материал—фанера толщиной
200	160	425	350	290	75	240	65	125	95	10
250	220	550	425	350	110	260	100	125	75	15
300	260	700	525	420	150	340	145	155	127	18
400	360	900	625	525	175	450	162	190	102	18

Влияние выходного сопротивления усилителя. Очень важное влияние на работу громкоговорителя оказывает величина выходного сопротивления усилителя, которая, к сожалению, лишь очень редко учитывается любителями.

Дело в том, что выходное сопротивление усилителя шунтирует громкоговоритель, увеличивая тем самым затухание всей его подвижной системы. Это притупляет резонансные свойства подвижной системы громкоговорителя, т. е. выравнивает его частотную характеристику, и вместе с тем уменьшает его переходные искажения. Такое улучшение свойств громкоговорителя может быть очень существенным, однако оно достигается только в том случае, если величина выходного сопротивления усилителя заметно меньше сопротивления громкоговорителя. Поэтому важное значение приобретают все мероприятия, позволяющие уменьшить величину выходного сопротивления усилителя.

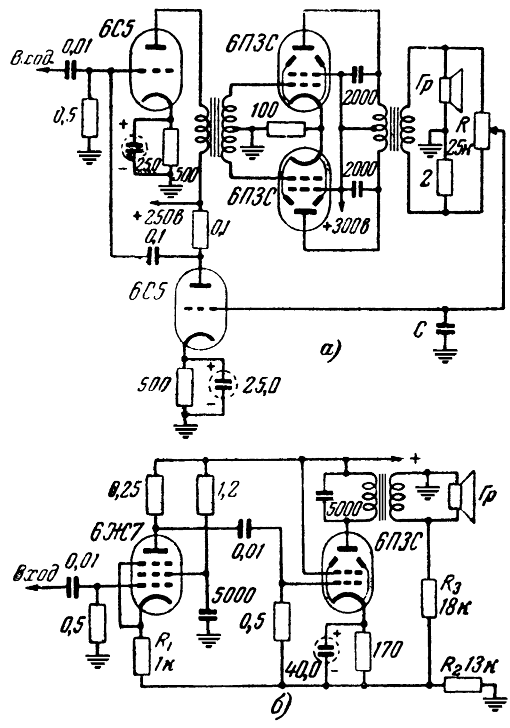
С этой целью необходимо в выходном каскаде использовать лампы, обладающие малым внутренним сопротивлением, т. е. триоды или пентоды, либо лучевые тетроды, включенные как триоды. Дальнейшее резкое снижение выходного сопротивления усилителя может быть получено путем использования в выходном каскаде сильной отрицательной обратной связи по напряжению. Очень малая величина выходного сопротивления достигается, если выходной каскад выполнить по схеме катодного повторителя.

Ниже будет рассмотрена схема усилителя (фиг. 95), в котором особое внимание уделено уменьшению выходного сопротивления. Путем использования в выходном каскаде мощных лучевых тетродов, включенных как триоды, а также благодаря очень сильной обратной связи выходное сопротивление этого усилителя доведено до 0,08 *ом*. Столь малая его величина обеспечивает резкое улучшение действия громкоговорителя.

Улучшение действия громкоговорителей посредством обратных связей. Для уменьшения искажений, возникающих в громкоговорителе, можно использовать также особые схемы обратных связей, которые тоже еще почти не используются радиолюбителями. Действие этих обратных связей можно объяснить следующим образом. В случае отсутствия искажений подвижная система движется в соответствии с напряжением, поданным на говоритель. Если имеют место искажения, то это означает, что колебания подвижной системы громкоговорителя не соответствуют подаваемому на него напряжению. При этом в звуковой обмотке громко-

говорителя индуктируется дополнительное напряжение, соответствующее искажениям. Если это напряжение подать на вход усилителя в противофазе, то можно осуществить компенсацию искажений.

Такие схемы приведены на фиг. 84. Чтобы подавать на вход усилителя лишь те напряжения, которые появляются



Фиг. 84. Схемы отрицательной обратной связи для компенсации искажений в громкоговорителе.

на зажимах громкоговорителя при наличии искажений, и не подавать полезного выходного напряжения усилителя, используется схема моста, балансировка которого производится потенциометром *R* (фиг. 84,*а*). Наиболее опасными являются искажения на нижней резонансной частоте громкоговорителя, поэтому для каждого используемого типа громкоговорителя необходимо подобрать величину конденсатора *С* (в пределах 500 ÷ 5 000 *пф*). Нижняя (по схеме) лампа 6С5 используется для усиления связи. Поскольку на

вход усилителя подаются лишь напряжения искажений, возникающие в громкоговорителе, такая обратная связь не снижает усиления полезных сигналов.

В другой схеме того же назначения (фиг. 84,*б*) на сопротивлении R_2 развивается напряжение, создаваемое катодным током лампы 6П3С. Вместе с тем на это же сопротивление подается напряжение со звуковой обмотки громкоговорителя (через сопротивление R_3). Величины деталей схемы подобраны таким образом, что эти два напряжения компенсируют друг друга, если в громкоговорителе отсутствуют искажения. При наличии их на обмотке громкоговорителя возникает составляющая напряжения, обусловленная искажениями. В анодном токе лампы соответствующей составляющей нет, и это напряжение искажений подается на сопротивление R_2 без компенсации. Благодаря тому, что сопротивление R_2 входит в катодную цепь первой лампы, напряжение искажений оказывается приложенным между ее сеткой и катодом, что и создает отрицательную обратную связь. Такая связь, как и предыдущая, компенсирует только искажения, возникающие в громкоговорителе, и не снижает усиления.

БОРЬБА С ИСКАЖЕНИЯМИ В УСИЛИТЕЛЕ

До сих пор речь шла о способах уменьшения искажений, возникающих в громкоговорителе. Рассмотрим теперь пути борьбы с искажениями, возникающими в самом усилителе.

Широко известно, что возникающие в усилителе искажения всех видов могут быть уменьшены посредством отрицательной обратной связи, причем искажения уменьшаются тем сильнее, чем более сильной является обратная связь. На этом основании распространено мнение, будто посредством достаточно сильной отрицательной обратной связи показатели любого усилителя можно сделать очень хорошими, ценой потери усиления. Однако это мнение часто оказывается неверным. Дело в том, что вследствие фазовых сдвигов, неизбежно возникающих во всяком усилителе на частотах, отличных от средней частоты полосы пропускания, обратная связь на этих частотах перестает быть чисто отрицательной и может даже превратиться в положительную. Если усиление на этих частотах велико, а обратная связь достаточно сильна, то она может вызвать самовозбуждение усилителя или неустойчивую его работу. Поэтому сильные обратные связи можно применять лишь в таких усилителях, которые обладают тщательно согласованными характеристиками зависимости усиления и фазового сдвига от ча-

стоты. Такие усилители и без обратной связи обладают достаточно хорошими показателями.

Точно так же, если усилитель создает большие нелинейные искажения, то сильная отрицательная обратная связь может не только не уменьшить их, но, напротив, заметно увеличить. Следовательно, сильную отрицательную обратную связь можно вводить только в усилители с умеренными искажениями.

Таким образом, утверждение, что отрицательная обратная связь уменьшает все виды искажений тем больше, чем эта связь сильнее, является верным, но неполным. Надо всегда помнить, что сильную отрицательную обратную связь, резко улучшающую качество работы усилителя, можно вводить только в такие усилители, которые и без обратной связи обладают удовлетворительными показателями. Напротив, в усилители низкого качества можно вводить лишь слабые обратные связи, неспособные заметно улучшить работу усилителя.

Из сказанного следует, что при конструировании высококачественных усилителей нельзя возлагать все надежды на использование обратной связи и строить собственно усилитель небрежно, из случайных деталей, с нерационально выбранными режимами работы ламп. Всегда нужно обращать самое серьезное внимание на качество деталей усилителя (в особенности его трансформаторов), на выбор режимов ламп, на рациональный монтаж. Только построив усилитель с достаточно хорошими показателями, можно достичь дальнейшего резкого улучшения их путем введения в усилитель сильной отрицательной обратной связи.

Использование сильной обратной связи делает режим работы охваченных ею каскадов весьма критичным и не позволяет производить в схемах этих каскадов никаких регулировок. Поэтому в последнее время обычно стремятся мощный выходной усилитель выполнять в виде отдельного тщательно отлаженного блока, не имеющего регулировок. Все регулировки (громкости, тембра и др.), выносятся в схему предварительного усилителя, выполняемого в виде отдельного блока.

Рассмотрим некоторые новые элементы схем мощных усилителей.

ФАЗОИНВЕРТЕРЫ

Выходные каскады высококачественных усилителей часто строятся по двухтактным схемам. Это объясняется известными достоинствами таких схем, к которым относятся

малая величина нелинейных искажений, компенсация действия пульсаций питающего напряжения, возможность использования ламп в наиболее экономичных режимах, а также возможность уменьшения размеров и стоимости выходного трансформатора.

При использовании двухтактной схемы на управляющие сетки ее ламп необходимо подавать равные и противофазные напряжения раскачки. Это создает некоторые затруднения, так как предшествующие однотактные каскады дают лишь однофазное напряжение.

Простейшим и вместе с тем наиболее употребительным способом перехода от однотактных к двухтактным каскадам является использование междулампового трансформатора с отводом от средней точки вторичной обмотки. Однако для получения удовлетворительной частотной характеристики этот трансформатор приходится делать очень большим, тяжелым и дорогим. Простые же и дешевые трансформаторы обладают плохой частотной характеристикой. Это заставляет заменять трансформаторы специальными схемами усилителей на сопротивлениях, которые дают на выходе равные и противофазные напряжения. Такие схемы носят название *фазоопрокидывающих* или *фазоинвертерных*.

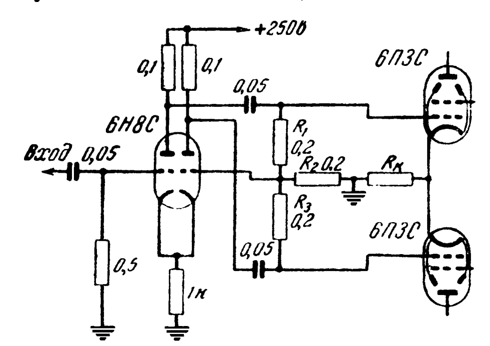
Большинство этих схем обладает тем существенным недостатком, что для получения на выходе противофазных и точно равных напряжений, необходимо тщательно подбирать величины входящих в схему сопротивлений. После того как такая регулировка произведена, балансировка схемы может измениться вследствие изменений величин сопротивлений или параметров ламп во время работы.

От этого недостатка свободна так называемая самобалансирующая фазоинвертерная схема, изображенная на фиг. 85. В ней используется двойной триод. Левый триод работает в схеме обычного усилителя напряжения. Его выходное напряжение подается на сетку одной из ламп двухтактного выходного каскада.

Цепь утечки сетки этой лампы состоит из сопротивлений R_1 и R_2. С сопротивления R_2 звуковое напряжение подается на сетку правого триода. Этот триод усиливает напряжение, изменяя его фазу на 180°, после чего усиленное напряжение подается на сетку второй лампы двухтактного каскада. Цепь утечки сетки этой лампы состоит из сопротивления R_3 и из того же сопротивления R_2, с которого снимается напряжение на сетку правого триода.

При таком соединении сопротивление R_2 входит как в сеточную, так и в анодную цепи правого триода. Это создает сильную отрицательную обратную связь, под действием которой напряжения раскачки на обеих лампах двухтактного каскада автоматически устанавливаются равными с очень большой точностью. Балансировка такой схемы не нарушается даже при значительных изменениях величин сопротивлений, параметров ламп и питающих напряжений.

Заметим, что сопротивление смещения в катодной цепи двойного триода, так же как и сопротивление в цепи катодов ламп двухтактного каскада, можно не шунтировать



Фиг. 85. Самобалансирующая фазоинвертерная схема.

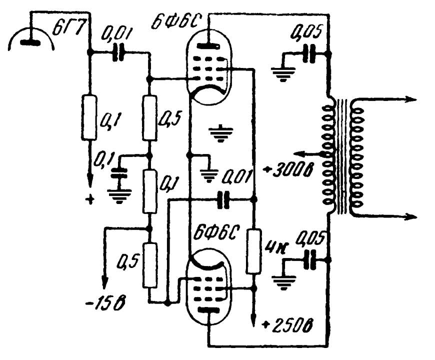
емкостями. Это объясняется тем, что по указанным сопротивлениям протекают равные и противофазные переменные составляющие токов двух ламп, которые компенсируют друг друга и не создают на сопротивлениях переменных падений напряжения.

Надо, правда, указать, что иногда при отсутствии катодного конденсатора работа рассматриваемой фазоинвертерной схемы, равно как и работа обычных двухтактных схем, может быть неустойчивой.

Недостатком самобалансирующей схемы фазоинвертера является некоторая склонность к самовозбуждению. Поэтому часто используется более простая фазоинвертерная схема, называемая *схемой с разделенной нагрузкой*. Такой фазоинвертер будет рассмотрен ниже (фиг. 95).

Остановимся еще на одной оригинальной схеме двухтактного каскада (фиг. 86). Эта схема интересна тем, что не требует применения междулампового трансформатора с отводом от вторичной обмотки или фазоинвертерного

каскада. На сетку верхней (по схеме) лампы двухтактного каскада звуковое напряжение подается с выхода обычного предконечного усилителя напряжения. В цепь экранной сетки этой лампы включено сопротивление, на котором переменная составляющая тока экранной сетки развивает звуковое напряжение обратной фазы. Это напряжение через разделительный конденсатор подается на управляющую сетку нижней лампы в качестве напряжения раскачки. Наряду с очевидным достоинством — простотой такая схема обладает и недостатками, которые затрудняют ее симметрирование и вызывают появление искажений.



Фиг. 86. Схема двухтактного каскада.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТОДНЫХ ПОВТОРИТЕЛЕЙ

Особенностью фазоинвертерных схем является то, что они имеют довольно большое выходное сопротивление. Это не имеет особого значения, если лампы выходного каскада работают без сеточных токов, т. е. если они работают в режимах класса А или AB_1. Однако, если эти лампы работают в режимах класса AB_2 или В, отдавая максимально возможную мощность, то в цепи их сеток в отдельные моменты времени появляется сеточный ток. Если цепь сеток ламп мощного каскада обладает большим сопротивлением, то сеточный ток развивает на нем значительное падение напряжения, которое создает искажения.

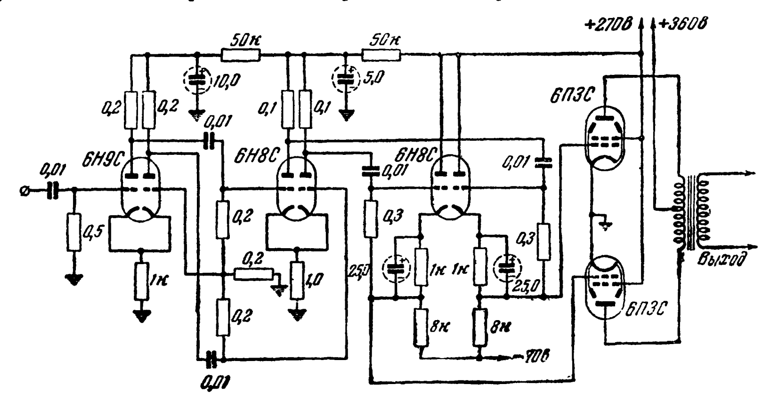
Это обстоятельство заставляет использовать на выходе предоконечного каскада понижающие междуламповые трансформаторы с отводом от середины вторичной обмотки, которые создают низкое выходное сопротивление предоконечного каскада. Фазоинвертерные схемы имеют большое выходное сопротивление и для раскачки ламп, работающих с токами сетки, применяться не могут.

Стремление избавиться от дорогого и громоздкого междулампового трансформатора привело к разработке особой схемы, имеющей низкое выходное сопротивление и способной осуществлять раскачку ламп, работающих с токами

сетки. Низкое выходное сопротивление такой схемы достигается благодаря тому, что после фазоинвертера в ней используются катодные повторители.

Вместе с тем, малая входная емкость катодных повторителей улучшает частотную характеристику предыдущего каскада. Схема такого усилителя изображена на фиг. 87.

В этом усилителе первая лампа используется в самобалансирующем фазоинвертерном каскаде, который подает на следующую лампу два равных противофазных напряжения. Вторая лампа работает в схеме обычного двухтактного усилителя напряжения. Триоды следующей лампы вклю-



Фиг. 87. Схема усилителя с мощным каскадом, работающим в режиме класса Б.

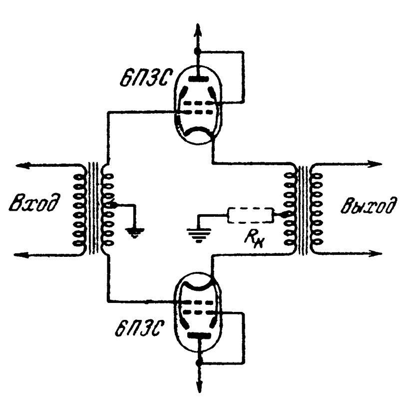
чены по схеме катодных повторителей, выходное напряжение которых подается на сетки ламп 6П3С, используемых в мощном каскаде. Эти лампы поставлены в режим класса В путем подачи на их сетки напряжения смещения — 70 *в*. В таком режиме выходной каскад отдает до 50 *вт* неискаженной мощности.

Рассмотрим здесь еще одно применение схемы катодного повторителя в усилителях низкой частоты. На фиг. 88 изображена схема мощного выходного каскада, у которого нагрузка включена в цепь катодов ламп. Такая схема обладает рядом ценных качеств. Прежде всего наличие очень сильной обратной связи практически полностью устраняет искажения. Это дает возможность использовать в качестве выходных дешевые трансформаторы, частотные характеристики которых совершенно не позволяют использовать их в обычных схемах выходных каскадов. В любительской

практике часто применяют обычные силовые трансформаторы, у которых обмотка высокого напряжения используется в качестве первичной, а обмотка накала ламп — в качестве вторичной. Коэффициент трансформации может изменяться в широких пределах, не оказывая заметного влияния на работу схемы.

Другим достоинством схемы с катодным выходом является то, что ее выходное сопротивление имеет очень небольшую величину. Это создает благоприятные условия для работы громкоговорителя.

Наконец, необходимо отметить простоту изображенной схемы. Она часто не имеет даже такой детали, как сопротивление автоматического смещения, так как необходимое напряжение смещения обычно развивается на активном сопротивлении первичной обмотки.



Фиг. 88. Схема мощного выходного каскада, использующего принцип катодного повторителя.

Недостатком этой схемы является то, что она требует для своей работы очень высокого напряжения раскачки. Действительно, напряжение, действующее между сеткой и катодом каждой лампы, представляет собой разность напряжения раскачки, действующего между сеткой и «землей», минус напряжение, действующее на половине первичной обмотки выходного трансформатора. Последнее напряжение имеет порядок сотни вольт и для того, чтобы между сеткой и катодом лампы действовало обычное напряжение порядка 10—15 *в*, напряжение раскачки тоже должно иметь величину порядка 100—150 *в*. Это вынуждает использовать в предыдущем каскаде достаточно мощную лампу. Переход от предыдущего каскада к выходному может быть выполнен как при помощи междулампового трансформатора, так и путем использования описанных выше фазоинвертерных каскадов. В табл. 4 содержатся сведения о режимах работы ламп 6П3С, используемых в такой схеме.

Коэффициент нелинейных искажений в этих режимах меньше 0,25%. Сопротивление нагрузки может быть увели-

Таблица 4

Напряжение смещения на каждой лампе, *в*	Анодное напряжение, *в*	Напряжение раскачки между сеткой и землей (амплитудное), *в*	Сопротивление нагрузки между катодами ламп, *ом*	Мощность на выходе, *вт*
— 23	+ 250	83	500	4
— 30	+ 250	93	500	4
— 37,5	+ 250	130	1 000	4
— 37,5	+ 250	170 (работа с токами сетки)	1 000	7

чено в 2—3 раза. При этом мощность практически не изменяется, но приходится заметно увеличивать напряжение возбуждения.

РЕГУЛЯТОРЫ ТЕМБРА

Рассмотрим теперь отдельные элементы схем предварительных усилителей.

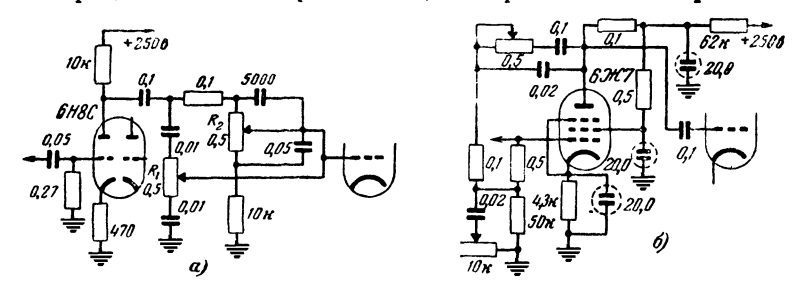
За последние годы было предложено очень много новых схем для регулировки тембра звука. При этом наметились две различные тенденции в использовании таких регуляторов. В большинстве случаев ручки регулировки тембра выводятся на панель приемника, что позволяет слушателю устанавливать воспроизведение высоких и низких звуковых частот в соответствии с особенностями той или иной передачи. В других конструкциях такие регулировки делаются полупеременными. Это означает, что регулировка тембра производится внутри приемника раз навсегда с таким расчетом, чтобы характеристики усилителя соответствовали акустическим свойствам громкоговорителя и помещения, а также вкусам слушателя. Однако и в том и в другом случае необходимо иметь возможность изменять частотную характеристику усилителя в достаточно широких пределах.

Из огромного числа схем регуляторов тембра мы приведем здесь лишь некоторые, хорошо зарекомендовавшие себя на практике.

Схема, приведенная на фиг. 89,*а*, несмотря на свою простоту, работает очень эффективно. Регулятор «басов» (сопротивление R_2) позволяет создавать подъем или падение частотной характеристики на частоте 50 *гц* на ± 15 *дб*, а регулятор «верхов» (сопротивление R_1) создает такие же изменения частотной характеристики на частоте 10 *кгц*. При этом усиление на частоте 1 *кгц* остается неизменным.

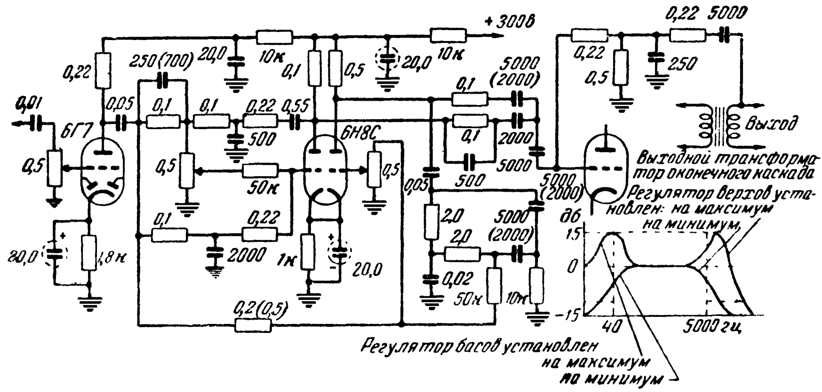
Схема, приведенная на фиг. 89,б, использует частотно-зависимые обратные связи и тоже обеспечивает весьма эффективное регулирование частотной характеристики.

Представляет интерес схема, изображенная на фиг. 90.



Фиг. 89. Схемы регуляторов тембра.

Здесь усиление низких и высоких звуковых частот производится отдельными лампами. Регулируя их усиление, можно очень сильно изменять тембр звучания. В этой схеме первый каскад (на лампе 6Г7) представляет собой обычный усилитель напряжения. Следующая лампа (двойной триод



Фиг. 90. Схема регуляторов тембра с раздельным усилением низких и высоких звуковых частот.

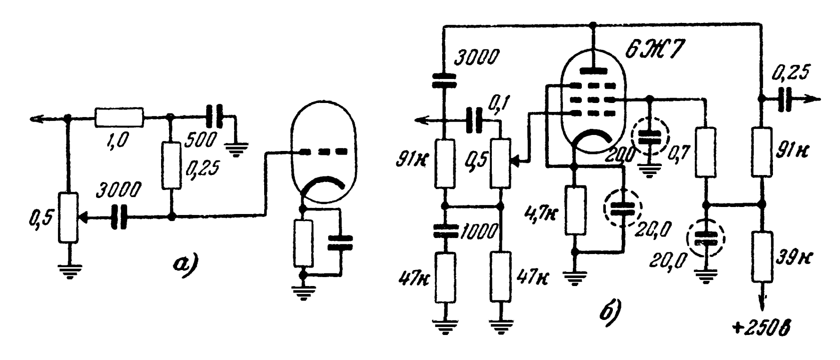
6Н8С) работает в схеме, содержащей особые фильтры, благодаря чему одна ее половина усиливает только высокие, а другая — только низкие частоты. Регуляторы усиления, включенные в цепи сеток триодов, позволяют изменять воспроизведение этих крайних частот. Средние звуковые частоты второй лампой не усиливаются и подаются помимо нее на сетку третьей лампы На эту же сетку подаются

также усиленные второй лампой высокие и низкие звуковые частоты.

Частотная характеристика такой схемы при максимальном усилении обоих триодов второй лампы имеет два резко выраженных максимума, один из которых лежит в области низших частот порядка 40 *гц*, а другой — в области высших частот порядка 6 *кгц*. В некоторых случаях наличие максимума в области столь низких частот является нежелательным, так как при этом делаются заметными фон переменного тока и неровности хода граммофонных электродвигателей. В этих случаях полезно передвинуть максимум в области низших частот на частоту порядка 70—80 *гц*. Такому режиму работы соответствуют величины, указанные на схеме в скобках.

КОМПЕНСИРОВАННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ГРОМКОСТИ

Особенность человеческого слуха состоит в том, что чувствительность его к различным звуковым частотам меняется при изменениях громкости звука. Поэтому, чтобы передача производила впечатление неискаженной, необходимо при



Фиг. 91. Схемы компенсированных регуляторов громкости.

уменьшении громкости производить подъем частотной характеристики усилителя в области низших и высших звуковых частот. Чтобы избавить радиослушателя от необходимости каждый раз при изменении громкости заново регулировать тембр звучания, разработаны особые схемы, которые автоматически производят необходимое изменение частотной характеристики усилителя при повороте регулятора громкости. Такие схемы носят название *компенсированных регуляторов громкости*. Иногда для упрощения схемы компенсированный регулятор выполняют так, что при умень-

шении громкости частотная характеристика усилителя приобретает подъем только со стороны нижних частот.

Простейшая схема такого компенсированного регулятора громкости, предложенная О. Храбаном, приведена на фиг. 91,*а*. Более совершенная схема такого же рода изображена на фиг. 91,*б* (это схема второго каскада усилителя, первый каскад которого изображен на фиг. 89,*б*).

БОРЬБА С ФОНОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Конструкторам усилителей обычно доставляет много затруднений борьба с фоном питающего переменного тока. Для ослабления фона необходимо прежде всего не скупиться при конструировании выпрямителя и использовать в фильтре конденсаторы большой емкости и дроссели с достаточно большой индуктивностью. Составляя схему усилителя, надо ставить все необходимые развязывающие фильтры, используя в них конденсаторы большой емкости.

Далее, надо всегда иметь в виду, что важную роль играет выбор ламп. В первых каскадах желательно использовать триоды, но при этом необходимо очень тщательно фильтровать их анодное напряжение, так как триоды сильно подвержены действию пульсаций анодного напряжения. Из пентодов одной из лучших ламп в смысле малой величины фона является 6Ж7. Лампы одноцокольной серии использовать в первых каскадах не рекомендуется вследствие даваемого ими большого фона.

Использование отрицательной обратной связи подавляет фон, возникающий в охваченных ею каскадах. Важную роль играет заземление цепи накала посредством включенного между проводами накала потенциометра с заземленным отводом. Подбирая положение отвода на потенциометре, можно снизить уровень фона на 10—30 *дб*. Хорошие результаты дает также уменьшение напряжения накала первых ламп с 6,3 *в* до 5,8 *в* или питание накала выпрямленным током.

В создании фона вредную роль играет утечка между катодом и нитью накала лампы. Утечка между нитью накала и сеткой вместе с сопротивлением утечки сетки образует делитель напряжения накала, вследствие чего на сетку лампы может попадать заметная доля этого напряжения. Для борьбы с этим необходимо использовать в первых каскадах усилителя высококачественные изоляторы, применять керамические ламповые панельки, ставить конденсаторы большой емкости (40 *мкф* и более) параллельно

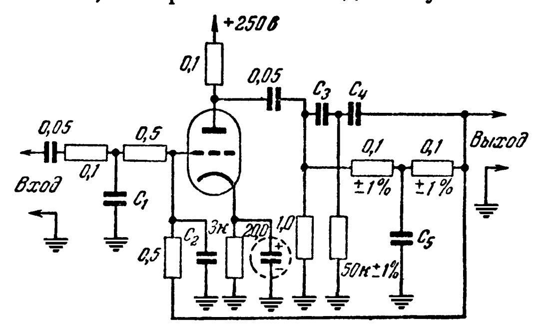
катодным сопротивлениям. Хорошие результаты в первых каскадах может дать схема усилителя, в которой катод лампы заземляется непосредственно, а необходимое сеточное смещение получается за счет протекания сеточных токов по сопротивлению утечки сетки, которое при этом берется большой величины (порядка 5—10 *мгом*). Такая схема применена, например, в приемнике «Балтика». Полезно также вместо заземления цепи накала подать на нее положительный потенциал около 10 *в* от специального потенциометра, включенного между положительным полюсом выпрямителя и шасси.

Важное значение имеет правильный монтаж схемы. Для уменьшения фона ни в коем случае нельзя использовать шасси в качестве одного из проводов накала или общего заземляющего провода. Цепи накала и заземления должны быть выполнены отдельными проводами. Каждая из них соединяется с шасси в одной точке, причем положение этой точки должно быть подобрано экспериментально так, чтобы фон был минимальным. Провода, соединяющие вход усилителя со звукоснимателем или другим источником сигнала, должны быть двойными и помещенными в экранирующую оболочку, которая соединяется с шасси усилителя в одной точке. Использование экранирующей оплетки в качестве одного из входных проводов заметно усиливает фон. Входные трансформаторы должны быть экранированы. Особенно надо учитывать, что силовые трансформаторы и граммофонные или магнитофонные электродвигатели обладают сильным полем рассеяния, которое может явиться причиной фона, если в него попадут первые лампы усилителя, даже если они имеют металлические баллоны, а также выходные лампы, имеющие стеклянные баллоны. Поэтому силовые трансформаторы и электродвигатели необходимо относить на достаточное расстояние от усилительной схемы.

ФИЛЬТР ШУМОВ НА *R* И *C*

Для ослабления действия помех радиоприему и шумов граммзаписи желательно вводить в схему усилителя фильтр, пропускающий все частоты до некоторой пограничной частоты и резко срезающий все более высокие частоты. Обычно такие фильтры содержат катушки индуктивности, изготовление и подгонка которых с требуемой точностью в любительских условиях затруднительны. Поэтому представляет интерес разработанная В. Чернявским схема фильтра, содержащая только емкости и сопротивления

Этот фильтр (фиг. 92) * представляет собой однокаскадный усилитель низкой частоты, охваченный отрицательной обратной связью, которая почти не действует в области низ-



Фиг. 92. Схема фильтра шума.

ших и средних частот и резко усиливается на частотах, превышающих некоторую граничную частоту. Полосу пропускаемых частот этого фильтра можно изменять, используя конденсаторы различной емкости, в соответствии с табл. 5.

Таблица 5

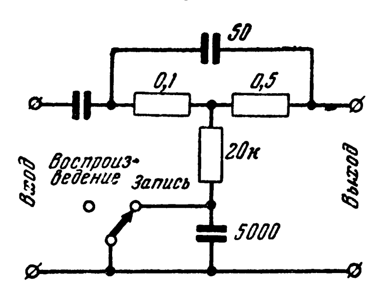
Частота начала ослабления (ослабление на —2 *дб*), *гц*	Частота, на которой ослабление составляет — 24 *дб*, *гц*	Емкость конденсаторов, *пф*				
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
7 000	20 000	100	—	75	75	150
5 000	12 000	200	50	100	100	200
4 000	8 000	300	100	150	150	300
3 000	5 600	500	250	200	200	400
2 100	4 000	700	500	275	275	550

КОРРЕКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ С МАГНИТОФОНОМ

Для получения наилучших результатов при магнитной записи и воспроизведении звука частотная характеристика усилителя, как известно, должна изменяться. При желании использовать обычный усилитель низкой частоты для работы с магнитофоном, такое изменение частотных характе-

* „Радио", 1952, № 1

ристик проще всего можно осуществить, включив между его первым и вторым каскадами корректирующую цепь, предложенную А. Богдановым (фиг. 93).



Фиг. 93. Схема корректирующей цепи для работы с магнитофоном.

Фиг. 94. Корректирующие цепи для пьезоэлектрического звукоснимателя.

КОРРЕКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Частотная характеристика граммофонной записи имеет подъем в области высших частот, достигающий 6 *дб* на частоте 6 *кгц*. В области низших частот эта характеристика снижается, опускаясь на частоте 50 *гц* на 15 *дб*. Для высококачественного воспроизведения граммзаписи необходимо обеспечить компенсацию этой неравномерности, для чего частотная характеристика тракта воспроизведения должна иметь подъем на 15 *дб* на частоте 50 *гц*, а на частоте 5 *кгц* она должна опускаться на 6 *дб*. Такую частотную характеристику можно осуществить в усилителе при помощи эффективно действующих регуляторов тембра, однако при этом регуляторы «басов» и «верхов» придется установить в крайние положения, что нежелательно, так как при этом не будет необходимого запаса регулировок. Кроме того, установку регуляторов тембра придется сильно менять каждый раз при переходе от проигрывания граммзаписей к слушанию радиопередач, и обратно. Поэтому желательно, чтобы необходимая коррекция частотной характеристики осуществлялась в звукоснимателе.

Этому требованию лучше всего отвечают пьезоэлектрические звукосниматели, частотная характеристика которых имеет резкий подъем в области низких частот и падает со стороны высоких частот. Недостатком этой характеристики является наличие пика в области частот порядка 6—7 *кгц*.

Для того чтобы характеристика пьезоэлектрического звукоснимателя соответствовала требуемой, звукосниматель

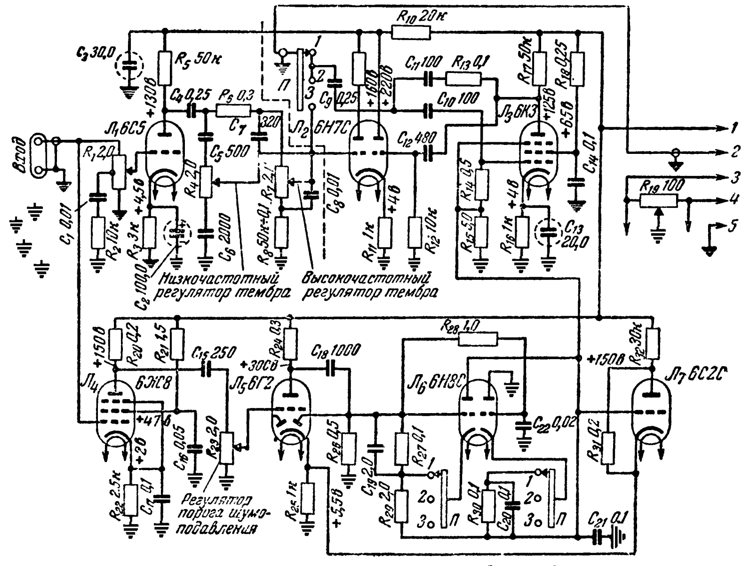
рекомендуется присоединять ко входу усилителя через специальную корректирующую цепь. Два варианта таких цепей приведены на фиг. 94.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Большой интерес представляют разработанные в последнее время так называемые *динамические фильтры,* позволяющие резко ослабить действие шумов при проигрывании граммзаписей и при приеме радиопередач.

Эти устройства представляют собой включаемые в схему усилителя низкой частоты фильтры с переменной полосой пропускания. В те моменты, когда нет сильных полезных звуковых сигналов высокой частоты, специальное автоматическое устройство делает полосу пропускания фильтра узкой, благодаря чему высокочастотные составляющие шумов через усилитель не проходят. В те же моменты, когда имеется достаточно сильный полезный сигнал высокой частоты, автоматическое устройство расширяет полосу пропускания фильтра, открывая тем самым «путь» для такого сигнала через усилитель. При этом через усилитель проходят и высокочастотные шумы, однако они оказываются незаметными на фоне сильного полезного сигнала.

Подобно этому можно изменять условия прохождения через усилитель низкочастотных составляющих звуковых



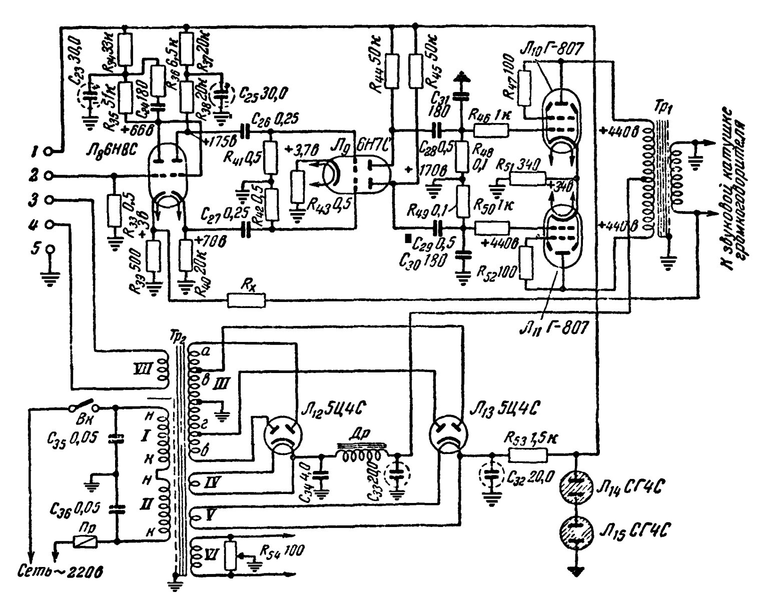
Фиг. 95. Схема высокока

сигналов и шумов так, чтобы при отсутствии сильных полезных напряжений низкой частоты низкочастотные составляющие шумов (например, фон) не проходили через усилитель, тогда как при воздействии сильных полезных сигналов низкой частоты «путь» для них должен автоматически открываться.

В первых схемах такого типа для изменения полосы пропускания фильтра использовались лампы-реактивности, которые управлялись специальным напряжением. Это управляющее напряжение получалось в результате выпрямления высокочастотных и низкочастотных составляющих усиливаемого напряжения в специальном детекторе с задержкой. Благодаря наличию задержки слабые составляющие напряжений шумов не выпрямлялись этим детектором и не воздействовали на лампы-реактивности, тогда как более сильные полезные сигналы выпрямлялись и управляли этими лампами, изменяя полосу пропускания фильтра.

В более поздних образцах для большей надежности действия вместо применения реактивных ламп полоса пропускания изменяется иначе.

Схема одного из таких динамических фильтров будет рассмотрена дальше (фиг. 95).



чественного усилителя.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Рассмотрим схему и конструктивные особенности высококачественного усилителя, разработанного В. Чернявским[1]. Этот усилитель является вполне современным по замыслу и представляет собой очень удачную конструкцию. Схема его приведена на фиг. 95.

Усилитель состоит из двух блоков, один из которых представляет собой предварительный усилитель с регуляторами громкости, регулятором тембра и динамическим фильтром, а другой содержит мощный усилитель и выпрямитель.

Выходной каскад усилителя выполнен по двухтактной схеме, в которой используются мощные лучевые тетроды $Л_{10}$ и $Л_{11}$ типа Г-807, включенные как триоды. Это обеспечивает малую величину выходного сопротивления, которое еще более уменьшается благодаря тому, что весь мощный усилитель охвачен очень сильной отрицательной обратной связью (24 *дб*). В результате этого выходное сопротивление усилителя составляет всего лишь 0,08 *ом*, что создает очень благоприятные условия для работы громкоговорителя. Вместе с тем сильная обратная связь позволяет получить чрезвычайно малые искажения и в самом усилителе. При выходной мощности 10 *вт* коэффициент гармоник мощного усилителя составляет всего лишь 0,3%. Полоса усиливаемых частот простирается от 15 до 20 000 *гц* с неравномерностью усиления не более ±0,5 *дб*. Может показаться, что такая широкая полоса не нужна, поскольку ухо не воспринимает частот выше 15 *кгц*, однако надо иметь в виду, что широкая полоса пропускания является признаком очень малых переходных искажений.

Использование сильной обратной связи заставило с большой тщательностью отнестись к разработке схемы усилителя и конструкции его выходного трансформатора $Тр_1$, чтобы обеспечить устойчивую работу.

Рассмотрим подробно схему мощного усилителя. Первый каскад усилителя, в котором используется левый триод лампы $Л_8$, представляет собой обычный усилитель напряжения на сопротивлениях. В цепь катода лампы этого каскада подается напряжение обратной связи со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$. Параллельно сопротивлению R_{35} анодной нагрузки присоединена цепь $R_{36}C_{24}$. Ее назначением является коррекция фазовой характеристики

---

[1] „Радио", 1951, № 11

всего усилителя, необходимая для устойчивой работы при наличии сильной обратной связи.

Следующий каскад является фазоинвертерным и выполнен по схеме с разделенной нагрузкой. В этом каскаде работает правый триод лампы $Л_8$, который имеет два равных нагрузочных сопротивления. Одно из них R_{38} включено в цепь анода и с него снимается напряжение на следующую лампу, как в обычном усилительном каскаде. Другое R_{40} включено в цепь катода и с него также снимается напряжение, равное по величине, но противофазное тому, которое снимается с анодного сопротивления. По существу нижняя часть этой схемы представляет собой катодный повторитель. Такая схема фазоинвертера работает вполне надежно при условии, что сопротивления катодной и анодной нагрузок в точности равны одно другому, для чего эти сопротивления приходится тщательно подбирать при сборке схемы.

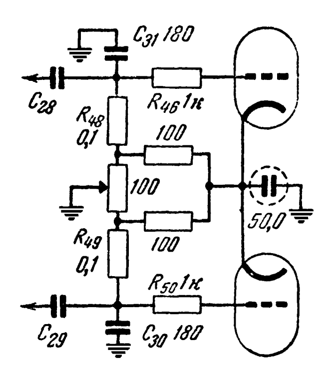
Интересная особенность этой схемы состоит в том, что катод правого триода лампы $Л_8$ имеет потенциал, близкий к потенциалу анода левого триода. Это позволило выполнить переход с анода левого триода на сетку правого триода без обычного переходного конденсатора, благодаря чему улучшились частотная и фазовая характеристики всего усилителя. Режим этих триодов подобран таким образом, что в такой схеме сетка правого триода имеет необходимое напряжение смещения по отношению к катоду этого триода.

Следующий каскад с лампой $Л_9$ представляет собой двухтактный предоконечный усилитель напряжения. Симметрия работы этой схемы обеспечивается тем, что при ее разбалансировке сопротивление R_{43} в цепи катода лампы, не шунтированное конденсатором, создает отрицательную обратную связь, которая восстанавливает симметрию схемы. Для повышения устойчивости выходного каскада в цепи управляющих сеток, а также между экранными сетками и анодами ламп Г-807 включены сопротивления R_{46}, R_{50}, R_{47} и R_{52}, которые должны быть обязательно непроволочными. Обратная связь создается тем, что один из концов вторичной обмотки выходного трансформатора заземляется, а другой конец через сопротивление R_x соединяется с катодом левого триода лампы $Л_8$. Сопротивление R_x для получения требуемой обратной связи должно быть выбрано в соответствии с величиной сопротивления $R_э$ звуковой катушки применяемого громкоговорителя по формуле

$$R_x = 1\,750\sqrt{R_э}.$$

Во избежание нежелательных резонансов на низших частотах фильтр выпрямителя выполнен без дросселя и выходного конденсатора. Вместо них использованы сопротивление R_{53} (остеклованное на 10 *вт*) и соединенные последовательно газоразрядные стабилизаторы $Л_{14}$ и $Л_{15}$. Выходной конденсатор фильтра — бумажный на рабочее напряжение 600 *в*. При желании фильтр можно выполнить по обычной схеме, однако это несколько ухудшит работу усилителя.

Для лучшего симметрирования выходного каскада может оказаться полезным выполнить цепь катодов ламп Г-807 так, как показано на фиг. 96. Регулируя потенциометр, можно добиться уничтожения фона и точной балансировки схемы. Последняя отмечается по равенству постоянных составляющих токов обеих ламп в режиме покоя.



Фиг. 96. Вариант схемы цепи катодов ламп.

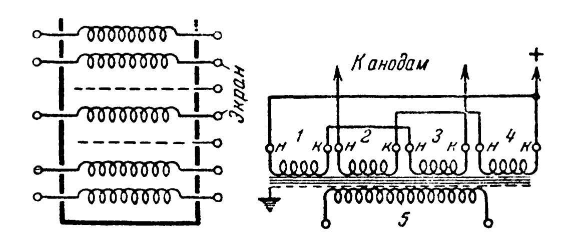
Для надежной работы этого усилителя важное значение имеет конструкция выходного трансформатора $Тр_1$. Его сердечник собран из пластин Ш-32 и имеет толщину пакета 32 *мм*. На каркас сначала наматываются две секции первичной обмотки, затем вторичная обмотка, после чего сверху помещаются еще две секции первичной обмотки; все эти секции соединяются так, как показано на фиг. 97. Такая конструкция позволяет уменьшить индуктивность рассеяния, что необходимо для устойчивой работы усилителя с сильной обратной связью. Каждая секция первичной обмотки имеет по 1 000 витков провода ПЭ 0,17; вторичная обмотка содержит 78 витков ПЭ 1,0.

Силовой трансформатор $Тр_2$ имеет сердечник из пластин Ш-40 с толщиной набора 60 *мм*. Обмотки *I* и *II* содержат по 211 витков провода ПЭ 0,64; при питании от сети с напряжением 220 *в* эти обмотки соединяются последовательно, а при питании от сети с напряжением 127—110 *в* — параллельно. Обмотка *III* состоит из 850 + 850 витков ПЭ 0,35; секции *а* и *б* имеют по 290 витков, а секции *в* и *г* — по 560 витков. Обмотки *IV* и *V* содержат по 10 витков ПЭ 1,2, а обмотки *VI* и *VII* — по 13 витков такого же провода. Статический экран между первичной и вторичной обмотками представляет собой незамкнутый виток из фольги.

В предварительном усилителе (на схеме отделен пунктиром) используется лампа $Л_1$, в анодную цепь которой включена схема регулировки тембра, подобная изображенной на фиг. 89. Цепь C_1R_2 создает частичную компенсацию регулятора громкости в области низших частот.

Вся остальная часть блока предварительного усилителя представляет собой динамический фильтр шумов. Понятно, он не является обязательной принадлежностью усилителя и при желании его можно из этой схемы исключить.

Динамический фильтр состоит из двух частей: управляемой с лампами $Л_2$ и $Л_3$ и управляющей, которая содержит лампы $Л_4$, $Л_5$, $Л_6$ и $Л_7$. Действует он следующим образом.



Фиг. 97. Схема намотки и соединений обмоток выходного трансформатора.

Управляемая часть схемы представляет собой усилитель, охваченный положительной и отрицательной обратными связями, которые создают крутой спад частотной характеристики этого усилителя в области высших частот. Величина этих обратных связей, а вместе с тем и спад характеристики в области высших частот зависят от усиления лампы $Л_3$. На первую и третью сетки этой лампы подается управляющее напряжение от управляющей части схемы, которое меняет усиление лампы $Л_3$ и вместе с ним полосу пропускания управляемого усилителя.

Управляющая часть схемы содержит усилитель сигнала с лампами $Л_4$ и $Л_5$ (триодная часть) и выпрямитель сигнала, в схеме которого используется диодная часть лампы $Л_5$. Частотная характеристика этого усилителя имеет подъем в области высших звуковых частот. В цепь диодного выпрямителя введено напряжение задержки, благодаря чему слабые напряжения высокочастотных составляющих шумов им не выпрямляются и не воздействуют на управляемую схему. Последняя при этом сохраняет узкую полосу пропу-

скания, так что эти высокочастотные составляющие шума через нее не проходят. Если же на вход динамического фильтра поступает достаточно сильный полезный высокочастотный сигнал, превышающий напряжение задержки выпрямителя, то он выпрямляется и выпрямленное напряжение воздействует на управляемую часть схемы, расширяя ее полосу пропускания и создавая тем самым условия для прохождения через управляемый усилитель этих полезных высокочастотных составляющих. Понятно, что при этом через управляемый усилитель будут проходить и высокочастотные составляющие шумов, однако они будут маскироваться полезным сигналом.

Такова общая схема действия динамического фильтра. Рассмотрим теперь отдельные подробности его устройства.

Как уже было сказано, в управляемой части используются лампы $Л_2$ и $Л_3$. С выхода предварительного усилителя при включении динамического фильтра сигнал подается на сетку левого триода лампы $Л_2$. Усиленное этим триодом напряжение сигнала поступает через конденсатор C_9 и контакты переключателя *П* на оконечный усилитель (контакты *1*) и, кроме того, через конденсатор C_{10} на первую сетку пентода $Л_3$.

Напряжение, усиленное лампой $Л_3$, поступает в цепь анода левого триода лампы $Л_2$. Кроме того, напряжение звуковой частоты из анодной цепи лампы $Л_3$ через конденсатор C_{12} подается в цепь сетки правого триода лампы $Л_2$. Так как оба триода лампы $Л_2$ имеют общее катодное сопротивление R_{11}, не зашунтированное конденсатором, то напряжение, подаваемое таким образом на сетку правого триода, для левого триода является напряжением положительной обратной связи.

Подбор элементов связи ламп $Л_2$ и $Л_3$ создает крутой спад частотной характеристики каскада, в котором работает левый триод лампы $Л_2$, в области высших частот. Это снижение усиления начинается на частоте 1 000 *гц* и достигает 30 *дб* на частоте 10 000 *гц*.

При подаче на первую и третью сетки лампы $Л_3$ отрицательного управляющего напряжения усиление этой лампы уменьшается, действие обратных связей ослабевает и частотная характеристика указанного каскада выравнивается. При управляющем напряжении, равном 60 *в*, она оказывается практически вполне равномерной вплоть до частоты 10 000 *гц*

В управляющей части схемы лампа $Л_4$ и триодная часть лампы $Л_5$ работают в схеме обычного усилителя напряжения с несколько поднятой в области высших частот частотной характеристикой. Усиленное напряжение подается на диодную часть лампы $Л_5$ через конденсатор C_{18}. Напряжение задержки в цепь выпрямительного диода подается с сопротивления R_{25}, включенного в общую цепь катодов ламп $Л_5$ и $Л_7$. Выпрямленное напряжение поступает через сопротивления R_{27} и R_{29} на первую и третью сетки лампы $Л_3$, изменяя частотную характеристику управляемого усилителя, и, кроме того, на сетку лампы $Л_7$. Под действием этого напряжения анодный ток лампы $Л_7$ снижается, напряжение задержки уменьшается и выпрямленное напряжение возрастает. Такая положительная обратная связь по постоянному напряжению позволяет получить резко выраженный порог ограничения слабых высокочастотных шумов. В то же время управляемый усилитель без искажений воспроизводит высокочастотные сигналы с амплитудой, превышающей некоторый пороговый уровень.

К управляющим электродам лампы $Л_3$ управляющее напряжение должно быть подано отделенным от переменных составляющих. Для этого используется фильтр $R_{29}C_{21}$ с большой постоянной времени. Однако большая постоянная времени этого фильтра приводит к возникновению характерных искажений резких ударных звуков. Для их устранения в эту схему введен каскад с лампой $Л_6$, который автоматически изменяет постоянную времени фильтра. При появлении отрицательного выпрямленного напряжения оно подается на сетку и катод левого триода лампы $Л_6$. При этом потенциал его анода делается выше, чем потенциал катода и сетки, триод отпирается и через него происходит быстрый заряд конденсатора C_{21}. После того как напряжения на аноде и катоде лампы уравняются, лампа запрется и зарядный ток пойдет через сопротивление R_{29}, в результате чего постоянная времени увеличится. Правый триод лампы $Л_6$ обеспечивает быстрый разряд конденсатора C_{21} после прекращения действия управляющей части.

При регулировке этой схемы необходимо правильно установить величину порога ее срабатывания. Для этого потенциометр R_{23} сначала надо поставить в положение, при котором усиление управляющего канала максимально, а затем при прослушивании граммзаписи следует постепенно поворачивать этот потенциометр, уменьшая усиление. При определенном положении ползунка потенциометра уро-

вень шумов резко возрастает. После этого необходимо немного повернуть ползунок назад, в сторону уничтожения шумов и оставить его в таком положении.

Динамический фильтр управляется переключателем *П*. В положении *1* включена вся схема динамического фильтра. В положении *2* выключается каскад изменения постоянной времени, что бывает необходимо при очень большом уровне помех радиоприему или при воспроизведении граммзаписей с плохой центровкой пластинки. В положении *3* выключается весь динамический фильтр.

Несмотря на сложность рассмотренной схемы, она почти не требует налаживания, при условии сборки ее из доброкачественных деталей с величинами, соответствующими указанным. Это свидетельствует о том, что рассматриваемая конструкция тщательно отработана. После сборки усилителя необходимо проверить режим ламп и выбрать такое присоединение цепи обратной связи мощного усилителя к концам обмотки выходного трансформатора, при которой нет самовозбуждения. Как всегда в таких схемах, в случае самовозбуждения концы одной из обмоток этого трансформатора необходимо поменять местами. Кроме того, при неудачном монтаже выходного каскада в нем могут возникнуть паразитные колебания сверхвысоких частот. Убедиться в их отсутствии можно, поднося к анодным и сеточным проводам (но не касаясь их) небольшую неоновую лампочку. Отсутствие ее свечения указывает на отсутствие паразитных колебаний.

Чувствительность рассмотренного усилителя равна 200 *мв* при выходной мощности 10 *вт* на частоте 400 *гц*. Уровень шумов составляет—70 *дб* от уровня максимальной мощности (10 *вт*).

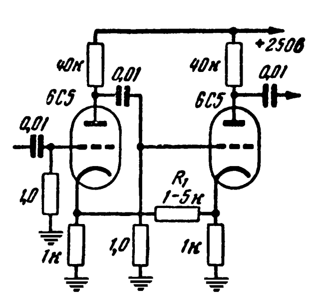
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

При конструировании дешевых малогабаритных усилителей низкой частоты бывает желательно избавиться от относительно громоздких и дорогих электролитических конденсаторов большой емкости. Это можно сделать при помощи специальных схем, разработанных в последнее время.

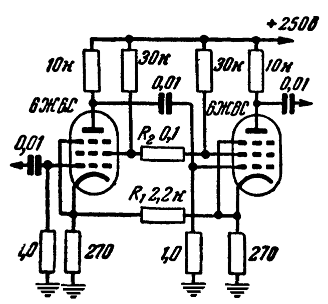
В каскаде усиления низкой частоты, выполненном по обычной схеме, имеется конденсатор емкостью 10—100 *мкф*, который шунтирует катодное сопротивление, служащее для создания напряжения сеточного смещения. При удалении этого конденсатора возникает отрицательная обратная связь, обусловленная тем, что переменная составляющая

анодного тока, протекая по катодному сопротивлению, создает на нем падение напряжения, которое находится в противофазе с входным напряжением каскада. Это уменьшает напряжение, действующее между сеткой и катодом лампы.

Такая отрицательная обратная связь уменьшает искажения усилителя, но вместе с тем резко снижает его коэффициент усиления и поэтому в усилителе напряжения является нежелательной. В двухкаскадном или многокаскадном усилителях ее можно скомпенсировать искусственно создаваемой положительной обратной связью.



Фиг. 98. Схема двухкаскадного усилителя без катодных конденсаторов.



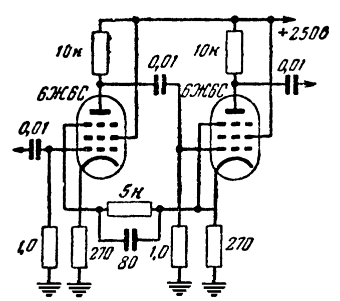
Фиг. 99. Схема двухкаскадного усилителя без конденсаторов в цепях катодов и экранных сеток.

В схеме, изображенной на фиг. 98, такая положительная обратная связь создается сопротивлением R_1, соединяющим катоды ламп. Величина этого сопротивления зависит от типов ламп и подбирается опытным путем. Благодаря малому сопротивлению цепи положительной обратной связи шунтирующее действие распределенных емкостей не влияет на ее работу вплоть до частот порядка 100—200 *кгц*. Изменение питающих напряжений влияет на работу такого усилителя примерно так же, как и в обычных усилительных схемах.

Применяя положительную обратную связь, можно исключить из схемы усилителя с пентодом также конденсаторы, блокирующие на землю экранные сетки ламп. При устранении этих конденсаторов на экранных сетках, питаемых через сопротивления, возникают переменные напряжения, снижающие усиление схемы. Применение положительных обратных связей позволяет компенсировать это уменьшение усиления.

На фиг. 99 приведена схема такого двухкаскадного уси-

лителя, не имеющего конденсаторов ни в цепях катодов, ни в цепях экранных сеток. В этой схеме, как и в предыдущей, сопротивление R_1, соединяющее катоды ламп, создает положительную обратную связь, которая заменяет действие катодных конденсаторов. Сопротивление R_2, соединяющее экранные сетки, создает другую положительную обратную связь, которая заменяет действие конденсаторов, заземляющих экранные сетки. Это сопротивление сравнительно велико, поэтому на высших частотах заметно проявляется шун-



Фиг. 100. Схема высокочастотной коррекции усилителя посредством положительной обратной связи.

Фиг. 101. Схема фазоинвертера с положительной обратной связью.

тирование его распределенными емкостями, снижающее усиление и тем самым ограничивающее полосу пропускания схемы.

Положительные обратные связи можно также использовать для расширения полосы пропускания усилителя в области высших частот. В обычных усилительных каскадах усиление на высших частотах падает в результате шунтирующего действия распределенных емкостей. Для компенсации этого действия обычно используют специальные дроссели, которые включаются в схему усилителя в качестве нагрузок ламп и увеличивают усиление на высших частотах.

Тот же эффект можно получить при помощи положительной обратной связи, величина которой возрастает с частотой. Проще всего такую обратную связь можно осуществить с помощью конденсатора, так как его сопротивление переменному току уменьшается при повышении частоты. Одна из таких схем приведена на фиг. 100.

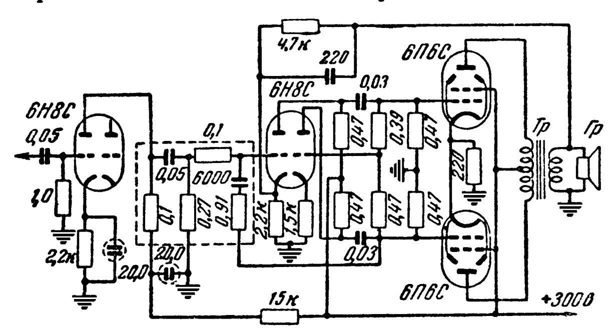
На фиг. 101 изображена описанная Е. Борисовым схема[1] фазоинвертера с разделенной нагрузкой (подобного приме-

---

[1] „Радио", 1953, № 3.

ненному в схеме фиг. 95). В отличие от рассмотренного выше у этого фазоинвертера катодное сопротивление R_2 одного триода присоединено к верхнему концу катодного сопротивления R_1 другого, которое не имеет шунтирующего конденсатора. Возникающая при таком соединении положительная обратная связь увеличивает усиление схемы примерно вдвое.

Большой интерес представляет схема высококачественного усилителя, приведенная на фиг. 102. В этой схеме триод первой лампы 6Н8С используется в обычном каскаде



Фиг. 102. Схема высококачественного усилителя с положительной и отрицательной обратными связями.

усиления напряжения. Выход его через особую цепь связи соединен с сеткой триода второй лампы 6Н8С, который тоже работает в каскаде усиления напряжения.

С выхода этого каскада напряжение подается на верхнее плечо двухтактного оконечного каскада, в котором используются лампы 6П6С.

Другой триод второй лампы 6Н8С работает в самобалансирующей схеме фазоинвертера, которая представляет собой видоизменение схемы фиг. 85. С выхода фазоинвертера напряжение подается на нижнее плечо оконечного двухтактного каскада.

Предконечный каскад, фазоинвертер и оконечный двухтактный каскад охвачены умеренной отрицательной обратной связью. Она создается путем подачи напряжения со вторичной обмотки выходного трансформатора *Тр* в цепь катода предоконечной лампы. Сопротивление 4,7 *ком* и конденсатор в 220 *пф* в цепи этой обратной связи обеспечивают нужную величину ее и создают необходимую для устойчивой работы фазовую коррекцию.

Кроме того, предоконечный каскад и фазоинвертер охвачены сильной положительной обратной связью. Она создается благодаря подаче напряжения с управляющей сетки выходной лампы на сетку предоконечной лампы. Величина этой обратной связи выбрана настолько сильной, что при выключении отрицательной обратной связи схема находится на пороге самовозбуждения.

Совместное действие отрицательной и положительной обратных связей делает усилитель вполне устойчивым. Эти две обратные связи уменьшают нелинейные и частотные искажения так же, как обычная отрицательная обратная связь глубиной 25 *дб*. Так, коэффициент нелинейных искажений оказывается меньше 0,7% при выходной мощности 5 *вт*.

Особенно интересно, что при правильном выборе величин обратных связей такой усилитель теоретически обладает нулевым выходным сопротивлением. Вследствие неточности регулировки выходное сопротивление практически получается отличным от нуля, однако величина его очень мала. Это резко улучшает работу громкоговорителя.

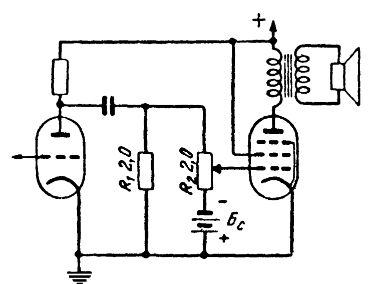
Малая величина выходного сопротивления позволяет использовать в такой схеме выходной трансформатор с небольшой индуктивностью при сохранении хорошей частотной характеристики. Это означает, что выходной трансформатор может иметь сравнительно небольшое сечение сердечника (4—5 *см*^{2}) и небольшое число витков в обмотках. Коэффициент трансформации должен быть выбран так, чтобы сопротивление нагрузки (динамика), умноженное на квадрат коэффициента трансформации, давало необходимую для двухтактного каскада с лампами 6П6С величину порядка 7—10 *ком*. Для уменьшения индуктивности рассеяния, которая может вызвать неустойчивую работу схемы, трансформатор должен иметь намотку, подобную изображенной на фиг. 97.

ЭКОНОМИЧНЫЕ ВЫХОДНЫЕ КАСКАДЫ БАТАРЕЙНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Оконечный каскад приемника с батарейным питанием является основным потребителем энергии батарей, поэтому повышение экономичности его работы способствует более долгой службе источников питания. Повышение экономичности работы такого каскада может быть достигнуто путем изменения сеточного смещения при изменениях громкости приема с таким расчетом, чтобы постоянная составляющая анодного тока, а вместе с тем и потребляемая от батарей

мощность уменьшались при тихом приеме и увеличивались в случае громкого приема.

Такое изменение смещения достигается в предложенной К. Дроздовым схеме[1], изображенной на фиг. 103. Здесь последовательно с регулятором громкости R_2 и дополнительным сопротивлением R_1 включена батарея сеточного смещения $Б$. При уменьшении громкости приема (посредством регулятора R_2) одновременно увеличивается отрицательное смещение на сетке лампы, что уменьшает ее анодный ток. Вследствие большой величины сопротивлений R_1 и R_2 разрядный ток батареи $Б_с$ очень мал, так что продолжительность ее службы ограничивается только сроком ее сохранности. Для лампы 2П1П напряжение батареи $Б_с$ должно быть около 9 *в*, а для лампы СО-244 — около 4,5 *в*.



Фиг. 103. Схема экономичного выходного каскада с регулировкой смещения посредством регулятора громкости.

Недостатком этой схемы является то, что здесь смещение зависит от установки движка потенциометра R_2, а не от действительного уровня громкости. В случае приема мощной местной станции при плохо работающей системе автоматической регулировки усиления высокочастотных каскадов громкость приема может быть большой даже при установке движка в нижней части потенциометра R_2. Так как при этом на сетку лампы подается большое смещение, усилитель будет работать с искажениями.

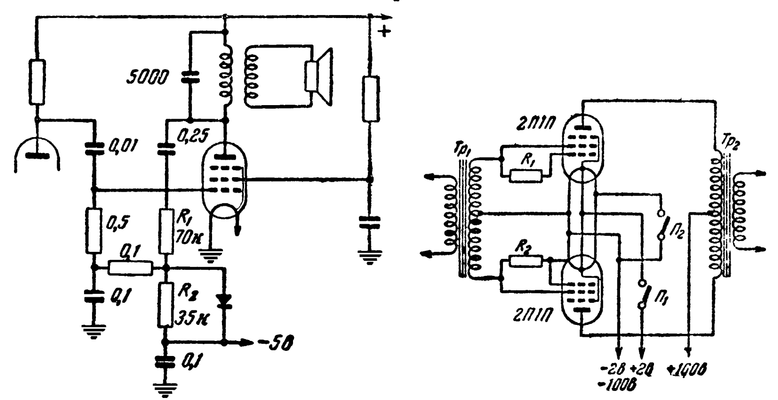
Для устранения этого недостатка необходимо, чтобы смещение, подаваемое на сетку выходной лампы, изменялось автоматически в соответствии с действительным уровнем сигнала, а не определялось установкой ручки регулятора громкости, так как одному и тому же положению этой ручки могут соответствовать разные уровни громкости.

Такая автоматическая регулировка смещения достигается в схеме, приведенной на фиг. 104. В этой схеме при отсутствии сигналов лампа выходного каскада почти полностью запирается начальным напряжением смещения и работает с очень небольшим анодным током. При приеме сигналов переменное звуковое напряжение из анодной цепи подается

---

[1] „Радио“, 1951, № 6.

на селеновый выпрямитель, выпрямляется им и подается на сетку выходной лампы в качестве дополнительного положительного смещения Таким образом, средняя рабочая точка лампы автоматически перемещается по характеристике, устанавливаясь в соответствии с силой принимаемого сигнала дальше или ближе от точки запирания лампы. При отсутствии звуковых сигналов, например в паузах передачи, такая схема резко сокращает потребление анодного тока. Применение такой схемы позволяет не только экономить батареи, но и повышать анодное напряжение лампы на 30—40%



Фиг. 104. Схема экономичного выходного каскада с автоматической регулировкой смещения.

Фиг. 105. Схема экономичного двухтактного выходного каскада.

против нормального, соответственно увеличивая кратковременно снимаемую с нее мощность в моменты наибольшей громкости передач.

Данные деталей, приведенные на схеме, являются ориентировочными и нуждаются в подборе применительно к используемой лампе и ее режиму. При правильном подборе величин сопротивлений и начального смещения схема работает без заметных искажений.

Наконец, для повышения экономичности выходного каскада можно его выполнить по двухтактной схеме, работающей в режиме класса В.

Интересный вариант такой схемы с пентодами 2П1П, разработанный В. Чернявским [1], приведен на фиг. 105. Потребляемый этой схемой ток в режиме молчания составляет менее 1 *ма* и возрастает при подаче на схему звукового

---

[1] „Радио“, 1951, № 10.

напряжения. При выходной мощности 1,5 *вт* ток равняется 30 *ма*. Коэффициент гармоник этой схемы невелик (4% при выходной мощности 1 *вт* и 12% при выходной мощности 1,5 *вт*). Сопротивления R_1 и R_2 нуждаются в тщательном подборе в зависимости от величины анодного напряжения; для напряжения 100 *в* они должны иметь величину 10 *ком*.

Для получения наилучших результатов важную роль играет правильный выбор коэффициента трансформации выходного трансформатора $Тр_2$. Если его выполнить с сердечником из пластин Ш-20 при толщине набора 30 *мм*, то первичная обмотка должна иметь 800+800 витков провода ПЭ 0,14. Число витков вторичной обмотки (из провода ПЭ 1,0) должно быть равно $24\sqrt{R_н}$, где $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Входной трансформатор $Тр_1$ этой схемы в случае, если предыдущей лампой является 2П1П, должен иметь сердечник из пластин Ш-20 при толщине набора 20 *мм* и с зазором 0,1 *мм*. Первичная его обмотка должна содержать 2 000 витков ПЭ 0,12, а вторичная — 1 200 + 1 200 витков того же провода.

Если переключателем $П_2$ у каждой лампы выключить по одной нити накала, то мощность, потребляемая на накал, уменьшится вдвое. Примерно во столько же раз уменьшатся анодный ток и полезная отдаваемая мощность.

ИМИТАЦИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ НИЖНИХ ЧАСТОТ

Хорошее воспроизведение нижних звуковых частот может быть получено только при установке громкоговорителя в ящик (или на отражательную доску) достаточно больших размеров. В малогабаритных устройствах это требование не выполняется, что приводит к резкому ухудшению качества звучания.

Однако звучание малогабаритных устройств можно улучшить, используя некоторые особенности слухового аппарата человека.

Этот аппарат обладает заметной нелинейностью, вследствие чего при воздействии синусоидальных колебаний звукового давления создается впечатление, будто слышны их гармоники и комбинационные тона. Такие нелинейные искажения проявляются наиболее сильно в области больших амплитуд звукового давления. А так как при одной и той же мощности звука амплитуды возрастают по мере понижения частоты, то это явление играет наибольшую роль при

слушании низших звуковых частот. В этой области слух человека весьма слабо реагирует на нелинейные искажения, возникающие в радиоаппаратуре, так как в самом слуховом аппарате образуются сильные нелинейные искажения.

В области более высоких частот при той же мощности амплитуды звукового давления оказываются меньше, и нелинейные искажения в органах слуха практически не возникают. В этой области слух легко отмечает даже сравнительно небольшие искажения, возникающие в радиоаппаратуре.

Из сказанного можно сделать вывод, что впечатление увеличения громкости нижних частот может быть создано путем воздействия на слух не этими частотами, а теми гармониками, которые возникли бы в слуховом аппарате при воздействии на него нижних частот. Для этого необходимо использовать усилитель, создающий ярко выраженные гармоники низших звуковых частот. Эти гармоники, имеющие более высокие частоты, чем основной тон, хорошо воспроизводятся громкоговорителями даже при небольших размерах ящиков.

В промышленных приемниках такие преднамеренные нелинейные искажения низших частот создаются различными способами, однако они трудно осуществимы в любительских условиях. Для радиолюбителей наибольший интерес представляет схема усилителя, в котором гармоники низших звуковых частот создаются специальным нелинейным каскадом.

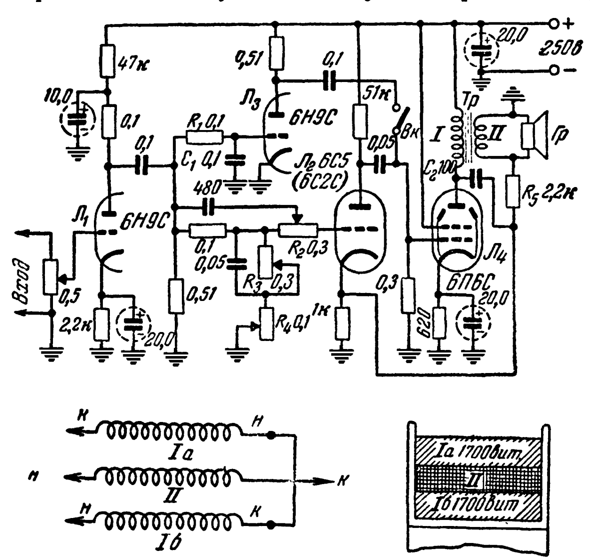
Такая схема, разработанная В. Чернявским, приведена на фиг. 106 *. Здесь первый триод $Л_1$ используется в обычном каскаде усиления напряжения. Лампы $Л_2$ и $Л_4$ используются в обычных предоконечном и выходном каскадах. Между анодом триода $Л_1$ и сеткой лампы $Л_2$ включена эффективно действующая схема регулировки тембра, которая позволяет в широких пределах изменять форму частотной характеристики усилителя. Потенциометр R_2 регулирует воспроизведение высших, R_4 — средних и R_3 — нижних звуковых частот.

С выхода первого каскада низкочастотные составляющие напряжения через фильтр R_1C_1 поступают на сетку триода $Л_3$, который работает в нелинейном режиме и создает сильные гармоники низших звуковых частот. Напряжение этих гармоник через выключатель *Вк* подается на сетку выходной лампы $Л_4$.

---

* „Радио“, 1953, № 7.

Предоконечный и выходной каскады охвачены отрицательной обратной связью. Конденсатор C_2 служит для коррекции фазовой характеристики, что повышает устойчивость работы усилителя с обратной связью. Сопротивление R_5 в цепи обратной связи определяется по формуле $R_5 = 580\sqrt{R_з}$, где $R_з$ — сопротивление звуковой катушки громкоговорителя.



Фиг. 106. Схема усилителя для имитации нижних частот и конструкция выходного трансформатора *Тр*.

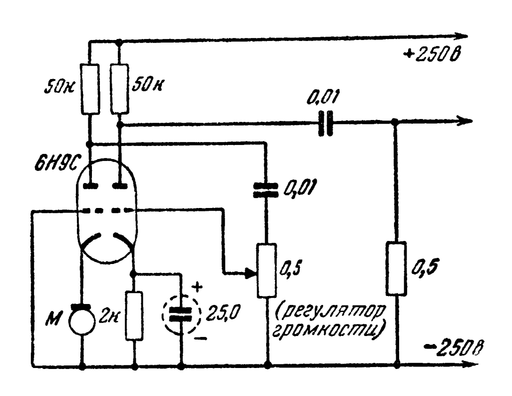
Выходной трансформатор *Тр* имеет сердечник из пластин Ш-20 при толщине набора 30 *мм*. Первичная обмотка *I* содержит 3 400 витков провода ПЭЛ 0,16. Вторичная обмотка *II* наматывается проводом ПЭЛ. Диаметр провода и число витков этой обмотки в зависимости от сопротивления звуковой катушки громкоговорителя приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сопротивление звуковой катушки, *ом*	Число витков	Диаметр провода, *мм*
2	67	0,8
5	104	0,74
8	133	0,69
12	162	0,64

ВКЛЮЧЕНИЕ УГОЛЬНОГО МИКРОФОНА

Благодаря своей простоте и дешевизне угольные микрофоны являются наиболее доступными для радиолюбителей, занимающихся звукозаписью, а также для небольших трансляционных узлов и дикторских установок. Однако неудобство использования угольных микрофонов заключается в том, что они требуют для своего питания источника постоянного тока. Это неудобство особенно заметно в устройствах с полным питанием от сети переменного тока. Здесь



Фиг. 107. Схема включения угольного микрофона.

приходится для питания микрофона либо делать отдельный выпрямитель, либо же использовать падение напряжения на каком-нибудь из сопротивлений автоматического смещения, шунтируя его конденсатором очень большой емкости.

Другим неудобством, возникающим при использовании угольных микрофонов, является необходимость в специальном микрофонном трансформаторе.

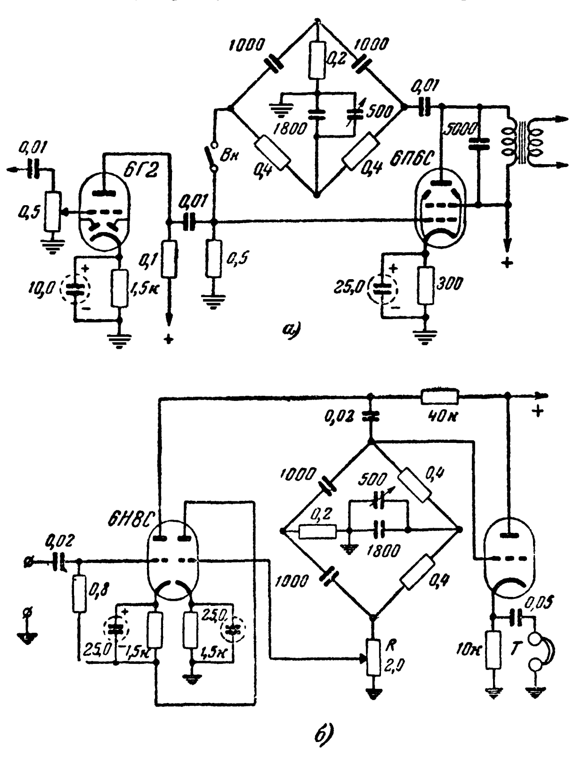
Эти недостатки устранены в схеме фиг. 107, предложенной В. Чернявским[1]. Здесь микрофон *М* включен в катодную цепь первого триода, который используется в схеме усилительного каскада с общей сеткой. Питание микрофона осуществляется анодным током триода, благодаря чему отпадает необходимость в специальном источнике питания и в микрофонном трансформаторе. Второй триод используется в следующем усилительном каскаде.

---

[1] „Радио", 1950, 10.

УЗКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Для приема телеграфных передач, а также в различных экспериментальных устройствах часто возникает необходимость в узкополосных усилителях-фильтрах. При приеме телеграфных сигналов от таких фильтров можно получить более узкую полосу пропускания, чем от кварцевых фильтров



Фиг. 108. Схемы узкополосных усилителей фильтров.

промежуточной частоты. Недостатком низкочастотных фильтров при этом является невозможность получения односигнального приема.

В качестве узкополосного фильтра низкой частоты наиболее удобно использовать усилительный каскад с отрицательной обратной связью, в цепь которой включается мостовая схема. Мост балансируется в пределах требуемой полосы пропускания, благодаря чему напряжение отрицательной обратной связи, подаваемое на усилитель, в пределах полосы

пропускания оказывается небольшим и усиление каскада не снижается. За пределами полосы пропускания мост оказывается разбалансированным и на усилитель подается большое напряжение отрицательной обратной связи, снижающее его усиление.

Схема такого типа изображена на фиг. 108,*а*. Выключатель *Вк* в этой схеме позволяет выключать цепь обратной связи при телефонном приеме. Конденсатор переменной емкости служит для балансировки моста на частоте около 400 *гц*.

Недостаток приведенной схемы состоит в том, что нагрузка выходной лампы шунтирует мост, снижая его избирательные свойства. Для устранения этого недостатка после моста следует использовать катодный повторитель, обладающий высоким сопротивлением со стороны входа. Кроме того, для лучшего действия фильтра желательно усиливать напряжение обратной связи в специальном усилительном каскаде. Такая схема показана на фиг. 108,*б*. Левый триод лампы 6Н8С в этой схеме служит для усиления напряжения обратной связи. Потенциометр *R* позволяет регулировать создаваемое этой лампой усиление, изменяя тем самым полосу пропускания фильтра. Мощность, даваемая катодным повторителем, достаточна для питания телефонных наушников. При желании получить на выходе бо́льшую мощность, необходимо после этого каскада установить еще один мощный каскад.

Для получения узкой полосы пропускания в схеме моста необходимо использовать конденсаторы высокого качества (применение бумажных конденсаторов может заметно ухудшить избирательность фильтра).

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Описанные выше схемы могут быть использованы радиолюбителями-конструкторами в их работе по созданию новых типов приемно-усилительной аппаратуры. При этом всегда следует помнить, что для получения хороших результатов недостаточно выбрать совершенную схему; очень большое значение имеют ее продуманное конструктивное выполнение и тщательное налаживание. Можно считать законом, что качество конструктивного выполнения и регулировки играет тем более важную роль, чем сложнее схема.

Сформулируем вкратце основные правила, которые следует выполнять при самостоятельном конструировании приемно-усилительной аппаратуры.

Объединяя схемы отдельных каскадов в общую принципиальную схему, нужно устранять возможность возникновения нежелательных обратных связей, включая развязывающие фильтры в цепи питания и автоматической регулировки усиления. Электролитические конденсаторы и бумажные конденсаторы большой емкости в цепях высокой частоты следует шунтировать слюдяными или керамическими конденсаторами емкостью в несколько сотен пикофарад.

Величины сопротивлений в цепях питания ламп должны обеспечивать получение тех режимов, которые являются рекомендованными для этих ламп. В особенности это относится к преобразовательным и выходным лампам. Нарушение нормального режима работы преобразовательной лампы может вызвать появление неприятных свистов и ложных каналов приема; неправильный режим оконечной лампы уменьшает отдаваемую мощность и резко увеличивает нелинейные искажения.

Для улучшения действия системы автоматической регулировки усиления схема должна быть выполнена так, чтобы напряжения на анодах и экранных сетках регулируемых ламп, а также начальные напряжения сеточного смещения возможно меньше изменялись при изменениях регулирующего напряжения. С этой целью следует уменьшать сопротивления фильтров-развязок в анодных цепях регулируемых ламп (соответственно увеличивая емкости этих фильтров); экранные сетки этих ламп желательно питать от потенциометров; начальные напряжения сеточного смещения целесообразно получать от сопротивления, включенного в общую цепь питания всей схемы.

В радиовещательных приемниках не следует увлекаться увеличением усиления до детектора (по высокой и промежуточной частоте), так как чувствительность выше 100—50 *мкв* нельзя использовать при существующем уровне промышленных и атмосферных помех.

Использование сильных отрицательных обратных связей, охватывающих несколько каскадов низкой частоты, возможно только при условии очень тщательного расчета и выполнения такой схемы. В противном случае возможны самовозбуждение или неустойчивая работа усилителя. Радиолюбителям надо рекомендовать возможно более точ-

ное повторение таких конструкций в соответствии с их описаниями.

При выборе деталей следует добиваться, чтобы их величины возможно ближе соответствовали указанным в принципиальной схеме. Особое внимание следует уделить выходному трансформатору. Для хорошего воспроизведения низших частот он должен иметь возможно большую индуктивность, т. е. достаточно большое сечение сердечника и число витков первичной обмотки. Коэффициент трансформации должен иметь такую величину, чтобы сопротивление нагрузки (громкоговорителя), умноженное на квадрат коэффициента трансформации, было равно тому сопротивлению, которое рекомендовано для оконечной лампы. Сечение провода первичной обмотки должно соответствовать величине анодного тока оконечной лампы.

Для улучшения воспроизведения высших звуковых частот необходимо стремиться уменьшать индуктивность рассеяния и распределенные емкости трансформатора. Уменьшение их имеет также очень большое значение для повышения устойчивости работы усилителей, у которых петля обратной связи охватывает трансформатор. Оно достигается секционированной намоткой и перекрестным включением отдельных секций катушки трансформатора, как показано на фиг. 97.

Размещение деталей на шасси должно быть достаточно свободным и таким, чтобы их соединения получались возможно более короткими. Отдельные каскады должны быть размещены на шасси в такой последовательности, в какой они находятся в схеме приемника. Во избежание нежелательных обратных связей недопустимо близкое расположение первых и последних каскадов высокой или низкой частоты. Нельзя размещать близко низкочастотные трансформаторы разных каскадов. Для ослабления фона переменного тока первые каскады низкой частоты должны быть удалены от выпрямителя.

С целью повышения стабильности лампу и детали гетеродина надо помещать так, чтобы они хорошо охлаждались и были удалены от нагревающихся деталей. Для лампы гетеродина рекомендуется использовать керамическую панель. Катушки коротких и ультракоротких волн желательно наматывать на керамические или полистироловые каркасы. Блок конденсаторов настройки полезно амортизировать. Шасси приемника должно быть достаточно жестким.

Электролитические конденсаторы также желательно удалять от нагревающихся частей приемника.

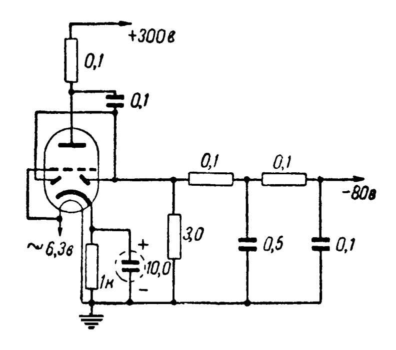
При сборке приемника надо возможно более тщательно экранировать все катушки (контуры) промежуточной и высокой частоты. Диаметр экрана должен быть не менее удвоенного диаметра заключенной в него катушки.

Шасси приемника нельзя использовать в качестве одного из проводов накала ламп или заземления, так как это усиливает фон переменного тока и ухудшает устойчивость работы. Цепи питания накала ламп и заземления должны быть выполнены отдельными проводами, каждый из которых соединяется с шасси в одной точке. Детали, входящие в схему одного каскада, следует помещать в непосредственной близости от соответствующей лампы, их заземленные провода надо присоединять к общему проводу заземления в одной точке.

В приемниках ультракоротких волн общие провода заземления и высокого напряжения удобно выполнять в виде широких металлических полос, лежащих на шасси и изолированных от него тонкой слюдяной или целлулоидной прокладкой. Распределенная емкость таких полос обеспечивает хорошую развязку отдельных каскадов. Полосы могут быть заменены спиралями из изолированного провода, намотанными на стержни из эбонита, дерева или другого изолятора. Эти спирали укладываются на шасси и имеют отводы к отдельным каскадам.

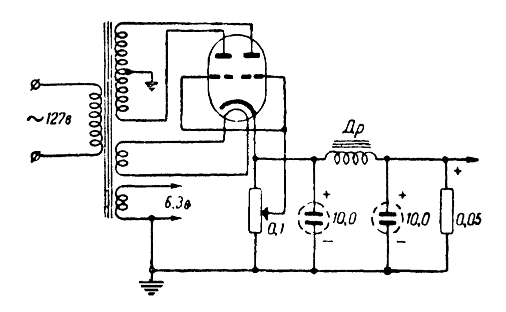
---

1. СХЕМА ИСТОЧНИКА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ



Часто бывает необходимо иметь источник отрицательного напряжения порядка нескольких десятков вольт, создание которого вызывает затруднения. Здесь приводится одна из простых схем получения такого напряжения. В этой схеме напряжение накала усиливается триодной частью двойного диод-триода и затем выпрямляется его диодами. При необходимости иметь источник отрицательного напряжения с повышенной мощностью в подобной схеме можно использовать двойной триод типа 6Н7С, используя одну его половину в качестве трансформаторного усилителя, а другую — в качестве выпрямительной лампы, соединив у нее анод и сетку вместе.

2. СХЕМА ВЫПРЯМИТЕЛЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ



Выпрямитель с регулируемым напряжением часто бывает необходим при различного рода экспериментах. В приведенной здесь схеме регулирование напряжения производится путем изменения напряжений на сетках выпрямительной лампы.

Цена 4 руб.